

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2018**

**Milan Kovalčík**

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Virtuální systém pro měření charakteristiky chladicí trysky**  
**Virtual System for Measuring Characteristics of the Cooling**  
**Nozzles**

**2018**

**Milan Kovalčík**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Milan Kovalčík**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy  
Téma: **Virtuální systém pro měření charakteristiky chladicí trysky**  
**Virtual System for Measuring Characteristics of the Cooling Nozzles**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Studium principů virtuálního měření signálů.
2. Tvorba softwarové aplikace pro měření fyzikálních veličin pomocí senzorů (průtok, tlak, hmotnost).
3. Tvorba softwarové aplikace pro čtení a generaci ovládacích signálů datovými vstupy a výstupy na měřicí kartě.
4. Realizace výsledné aplikace pro měření chladicí charakteristiky ostříkové trysky.
5. Zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustroval Viktorie VLACHOVÁ. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [2] BITTER, Rick, Taqi MOHIUDDIN a Matt NAWROCKI. *LabVIEW: advanced programming techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, c2007. ISBN 978-0-8493-3325-5.
- [3] HLAVÁČ, Václav a Miloš SEDLÁČEK. *Zpracování signálů a obrazů*. 2. přeprac. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03110-0.
- [4] WITTASSEK, Tomáš. *Virtuální instrumentace I*. Sylaby do předmětu Virtuální instrumentace I. Ostrava 2012. 264 s.
- [5] ŠTĚTINA, Josef. *Dynamický model teplotního pole plynule odlévané bramy*. Ostrava: 2007. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Katedra tepelné techniky. Dostupné také z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/stetina/disertace/kapitola-10.htm>.
- [6] HORSKÝ, Jaroslav a Miroslav RAUDENSKÝ. Measurement of Heat Transfer Characteristics of Secondary Cooling in Continuous Casting. In: *Metal 2005*. Ostrava: TANGER, 2006. s. 1-8. ISBN 80-86840-13-1.
- [7] HORSKÝ, Jaroslav, Tomáš LUKS a Jana ONDROUŠKOVÁ. *Měření ostříkových charakteristik trysek*. Technická zpráva pro EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s., Brno, Czech Republic 2012. s. 21

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ludvík Koval, Ph.D.**


Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



---

doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
*děkan fakulty*

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 30. dubna 2018

  
.....  
Milan Kovalčík

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Ludvíku Kovalovi, Ph.D., za odbornou pomoc, podnětné konzultace a cenné rady při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem virtuálního systému pro měření charakteristiky chladicí trysky ve zvoleném vývojovém prostředí LabVIEW. Pomocí vytvořené aplikace probíhá měření průtoku průmyslovým průtokoměrem Comac cal flow 38, tlaku tlakoměrem Keller pr-23s a komunikace s elektronickou měřicí váhou Kern. Dále je řízen pohyb robotického ramene s chladicí tryskou a ovládáno otevření a zavření chladicí trysky. Chladicí trysky se využívají v sekundárním chlazení při kontinuálním odlévání oceli. Všechna tato zařízení, s výjimkou váhy, jsou propojena s měřicí kartou počítače. Elektronická váha Kern komunikuje přes sériové rozhraní, které je vytvořeno konvertorem rozhraní USB/RS232. Celé měření charakteristiky chladicí trysky probíhá v automatizovaném režimu. Na předním panelu se pomocí LED indikátorů signalizují stavy, ve kterých se robot nachází a uživatel si pouze volí možnost ukládání dat do souboru a dobu otevření trysky. Po skončení aplikace je vykreslen 3D graf s výsledky měření charakteristiky chladicí trysky.

## **Klíčová slova**

Číslicový měřicí systém, LabVIEW, indukční průtokoměr Comaf flow 38, tlakoměr Keller pr-23s, váha Kern, RS232, virtuální měřicí přístroj, chladicí trysky, využití chladicích trysek v průmyslu, sekundární chlazení, 3D graf

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the design of a virtual system for measuring characteristics of the cooling nozzles in the selected development tool LabVIEW. Through created application, flow rate is measured by the Comac cal flow 38 industrial flowmeter, pressure is measured using a Keller pressure gauge and weight is measured by the digital Kern scale. Motion of the robotic arm with the cooling nozzle is controlled and the cooling nozzle is opened and closed. Cooling nozzles are used in secondary cooling for continuous casting of steel. All these devices except digital scale are connected to the computer's measurement card. Digital scale Kern communicates via the serial interface that is created by the USB/RS232 interface converter. Entire measurement of the nozzle characteristic is performed in automated mode. On the front panel, LEDs indicate the states in which the robot is located, and user only chooses the option to save the data to the file and the opening time of the nozzle. At the end of the application, a 3D graph with results of the measurement of the nozzle characteristic is plotted.

## **Key words**

Numeric measuring system, LabVIEW, Comaf flow induction flowmeter 38, Keller pr-23s, Kern weight, RS232, virtual measuring instrument, cooling nozzles, cooling nozzles in industry, secondary cooling, 3D graph



# Obsah

Seznam použitých zkratk	- 11 -
Seznam použitých ilustrací a tabulek	- 12 -
Úvod	- 13 -
1 Principy virtuálního měření signálů	- 14 -
1.1 Číslicový měřicí systém	- 15 -
1.1.1 Uspořádání ČMS	- 15 -
1.1.1 Prvky ČMS	- 16 -
1.1.2 Programování ČMS	- 16 -
1.1.3 Rozdělení ČMS	- 16 -
1.1.4 Human Machine Interface (HMI)	- 17 -
1.2 Virtuální měřicí přístroj	- 18 -
1.3 Proces měření a jeho fáze	- 19 -
1.3.1 Fáze sběru dat a řízení technologického procesu	- 19 -
1.3.2 Fáze analýzy naměřených dat	- 19 -
1.3.3 Fáze prezentace naměřených a analyzovaných dat	- 20 -
1.4 Vhodné programovací jazyky	- 20 -
1.4.1 Problematika základních programovacích nástrojů	- 20 -
1.5 Produkty vývojových prostředí na světovém trhu	- 21 -
1.6 LabVIEW	- 21 -
1.6.1 Čelní panel	- 22 -
1.6.2 Blokový diagram	- 22 -
2 Chladicí trysky	- 24 -
2.1 Druhy chladicích trysek	- 24 -
2.1.1 Axiální trysky s rozstříkem plného kužele	- 25 -
2.1.2 Tangenciální trysky s rozstříkem plného kužele	- 26 -
2.1.3 Svazové trysky	- 27 -
2.2 Využití chladicích trysek v průmyslu	- 28 -
3 Tvorba softwarové aplikace pro senzory průtoku, tlaku a hmotnosti	- 32 -
3.1 Křemíkové monokrystalické snímače tlaku	- 32 -
3.1.1 Tlakoměr Keller pr-23s	- 33 -
3.2 Průmyslové indukční průtokoměry	- 34 -

3.2.1	Indukční průtokoměr Comac flow 38 .....	- 34 -
3.2.2	Proudová smyčka 4-20 mA.....	- 35 -
3.3	Implementace dat ze senzoru průtoku a tlaku do aplikace .....	- 37 -
3.4	Elektronická váha Kern 572-32 .....	- 39 -
3.4.1	RS232 .....	- 40 -
3.4.2	Popis přenosu dat .....	- 40 -
4	Tvorba softwarové aplikace pro čtení a generování ovládacích signálů .....	- 42 -
4.1	Měřicí karta NPCI-6221 .....	- 42 -
4.1.1	DAQ assistant .....	- 43 -
4.2	Rozhraní Interbus.....	- 43 -
5	Realizace výsledné aplikace .....	- 44 -
6	Zhodnocení výsledků .....	- 48 -
	Závěr .....	- 49 -
	Použitá literatura.....	- 50 -
	Seznam příloh.....	- 52 -

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
<b>LabVIEW</b>	Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench. Grafické programovací prostředí
<b>VI</b>	Virtual Instrument. Virtuální přístroj, základní entita tvorby kódu v LabVIEW
<b>ČMS</b>	Číslicový měřicí signál
<b>OS</b>	Operační Systém
<b>HMI</b>	Human Machine Interface
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>NI</b>	National Instruments
<b>NI MAX</b>	National Instruments Measurement and Automation Explorer
<b>DOS</b>	Myšleno MS-DOS. Microsoft disk operating system
<b>LED</b>	Light Emitting Diode
<b>D-sub</b>	D-subminiature
<b>DAQ</b>	Data AcQuistion
<b>PC</b>	Personal Computer
<b>ZPO</b>	Zařízení pro Plynulé Odlévání
<b>TxD</b>	Transmit Data
<b>RxD</b>	Read Data
<b>GND</b>	Ground
<b>DO</b>	Digital Output
<b>DI</b>	Digital Input
<b>AO</b>	Analog Output
<b>AI</b>	Analog Input
<b>TTL</b>	Tranzistorově Tranzistorová Logika

## Seznam použitých ilustrací a tabulek

<i>Obrázek 1</i> Uspořádání počítačového číslicového měřicího systému [2] .....	- 15 -
<i>Obrázek 2</i> Dotyková obrazovka HMI rozhraní.....	- 17 -
<i>Obrázek 3</i> Virtuální osciloskop [3].....	- 18 -
<i>Obrázek 4</i> Ikona vývojového prostředí.....	- 21 -
<i>Obrázek 5</i> Základní druhy postřiků [7].....	- 24 -
<i>Obrázek 6</i> Axiální tryska s rozstříkem plného kužele [8].....	- 25 -
<i>Obrázek 7</i> Tangenciální tryska s rozstříkem plného kužele [8].....	- 26 -
<i>Obrázek 8</i> Trysky sekundárního chlazení [10] .....	- 30 -
<i>Obrázek 9</i> Schéma plynulého odlévání [9] .....	- 31 -
<i>Obrázek 10</i> Řez piezorezistivním snímačem s oddělovací membránou [12].....	- 32 -
<i>Obrázek 11</i> Snímač tlaku Keller pr-23s [13] .....	- 33 -
<i>Obrázek 12</i> Náskres elektrického zapojení [13] .....	- 33 -
<i>Obrázek 13</i> Průmyslový průtokoměr Flow 38 [16] .....	- 34 -
<i>Obrázek 14</i> Příklad struktury proudové smyčky 4-20mA [17] .....	- 36 -
<i>Obrázek 15</i> Možné zapojení proudové smyčky [17] .....	- 36 -
<i>Obrázek 16</i> Program pro měření průtoku a tlaku .....	- 37 -
<i>Obrázek 17</i> Uložení hodnot průtoku a tlaku.....	- 38 -
<i>Obrázek 18</i> Celkový program pro měření průtoku a tlaku včetně subVI.....	- 38 -
<i>Obrázek 19</i> Elektronická váha Kern 572-32 [18] .....	- 39 -
<i>Obrázek 20</i> Konektor D-Sub-9 pinový [18] .....	- 40 -
<i>Obrázek 21</i> Popis přenosu dat [18].....	- 40 -
<i>Obrázek 22</i> Nastavení komunikačních parametrů sériové linky.....	- 41 -
<i>Obrázek 23</i> Část kódu pro sériový přenos dat.....	- 41 -
<i>Obrázek 24</i> DAQ Assistant.....	- 43 -
<i>Obrázek 25</i> Vývojový diagram automatizované části robota .....	- 45 -
<i>Obrázek 26</i> Výsledný přední panel .....	- 46 -
<i>Obrázek 27</i> 3D graf z výsledného předního panelu.....	- 47 -
<i>Obrázek 28</i> Výsledný 3D graf.....	- 48 -
 <i>Tabulka 1</i> Srovnání Tradičního přístroje a Virtuálního .....	- 14 -
<i>Tabulka 2</i> Tabulka důležitých technických parametrů [13] .....	- 33 -
<i>Tabulka 3</i> Elektrické zapojení [13].....	- 33 -
<i>Tabulka 4</i> Důležité technické parametry [16] .....	- 35 -
<i>Tabulka 5</i> Definování digitálních veličin .....	- 42 -

## Úvod

Chladicí trysky hrají velkou roli při odlévání oceli, a to konkrétně ve fázi sekundárního chlazení, kde je potřeba odlitek intenzivně chladit. Tento děj je velmi složitý. Ke chlazení se ve většině případů využívá voda, nebo kombinace vody a vzduchu. Toto chlazení musí být navrženo tak, aby se vyloučilo vytvoření mikro trhlinek na povrchu kontislitku a také nedošlo k průvalu (protržení stěny kontislitku a vytečení ještě tekutého jádra). Proto je důležité, aby chladicí trysky chladily celý povrch odlitku všude stejně tzn. konstantně. Typ trysky se volí podle toho, jaký profil odlitku chladí.

Úvodem je nutno zmínit, že tato bakalářská práce je součástí většího celku, kdy se modeluje celý proces ochlazování kontislitku pomocí simulačního software, kde měření charakteristiky chladicí trysky probíhá tak, že chladicí tryska je namontována na robotovi ve tvaru robotické ruky, tento robot je od společnosti Kuka. Robot je naprogramován tak, že opisuje matici bodů, ve kterých probíhá měření, a pohybuje se řízeně po této matici. Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout vhodný virtuální systém ve vývojovém prostředí LabVIEW, která zajistí krokování v matici měřených bodů a odměří hmotnostní přírůstek chladicí vody v každém bodě. Proces měření hmotnostního přírůstku chladicí vody v každém bodě spočívá v tom, že se po určitou přesně definovanou dobu chladicí tryska otevře a zase uzavře, přičemž se elektronickou vahou změří hmotnostní přírůstek chladicí vody. Tryska je namířena na kalibrovaný kruhový otvor, kterým protéká chladicí voda do záchytné kádinky umístěné na elektronické váze. Poté se robotická ruka přesune do dalšího měřicího bodu. Měřicí body jsou naprogramovány tak, aby byla spolehlivě zachycena celá oblast, ve které tryska chladí (tryská chladicí kapalina). Tato aplikace je naprogramována tak, aby nemohlo dojít k přetečení kádinky. V případě překročení limitu je zapnuto čerpadlo, které odčerpává vodu, a je také ošetřeno dolním limitem, který chrání čerpadlo proti zavzdušnění a proti případnému poškození čerpadla. Součástí této aplikace je i snímač pro měření průtoku a tlaku. Výsledkem tohoto měření je 3D graf, který je složen ze 121 bodů (přírůstku) a zobrazuje výslednou charakteristiku chladicí trysky. Chladicí výkon trysky je následně z její charakteristiky odvozen.

V prvních dvou kapitolách je teoretické seznámení s virtuálním měřením signálů, jaké výhody přináší oproti klasickému měření a také co je to virtuální přístroj. Dále je zde rozebráno využití chladicích trysek v průmyslu, zabýváme se popisem daného zařízení a poté jak se dále dělí. Třetí kapitola se věnuje tvorbě softwarové aplikace pro senzory průtoku, tlaku a hmotnosti. Zde se popisuje, jakým způsobem byl vytvořen program, v jaké formě jsou reprezentována data z těchto senzorů, popis přenosu dat pro sériovou komunikaci apod. Snímač průtoku a tlaku je zapojen pomocí proudové smyčky, která je zakončena rezistorem  $220\Omega$  a měřena analogovým vstupem převodníkové karty. Změřený signál je zpětně přepočítán na jednotky tlaku a průtoku. Data z elektronické váhy jsou posílány přes sériovou linku, kde se musí nastavit komunikační parametry a vytvořit bloky pro zápis a čtení. Čtvrtá kapitola se zabývá tvorbou softwarové aplikace pro čtení a generování logických ovládacích signálů. Jsou to signály, pomocí kterých je realizováno krokování robota v rámci matice měřených bodů. Zde je popsáno jakým způsobem jsou data čtena a generována. Digitální ovládací signály pro krokování robota jsou pomocí spínacích relé přiváděna na vstupy rozhraní INTERBUS. Toto rozhraní pracuje s logickou úrovní signálů 24V. Optovláknovým spojem jsou signály z rozhraní INTERBUS přivedeny přímo do řídicí jednotky robota. Dle čtených stavů následně robot krokuje v matici měřicích bodů. V páté kapitole je popsán vývojový diagram robota, podle kterého je vytvořen celý program, dále popis programu celé aplikace a výsledného 3D grafu. Poslední kapitola zhodnocuje dosažené výsledky celé práce.

# 1 Principy virtuálního měření signálů

Virtuální měření signálů je velmi perspektivní a rychle se rozrůstající obor. Na rozdíl od reálného měření, kde máme jeden, nebo více konkrétních přístrojů, které mají uzavřený systém bez možnosti dalších úprav, nabízí možnost implementace a vlastního návrhu prakticky jakéhokoliv zařízení s možností úpravy stávajícího přístroje či přidání nového, bez nutnosti kupovat nové zařízení.

*Tabulka 1 Srovnání Tradičního přístroje a Virtuálního*

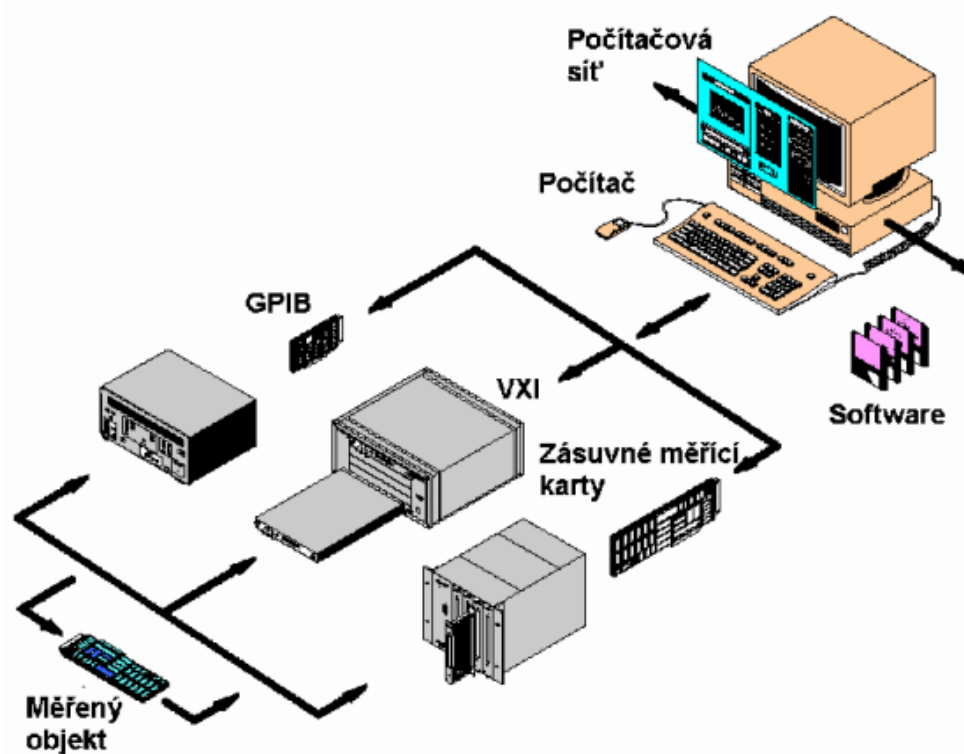
Hledisko	Tradiční přístroj	Virtuální přístroj
<b>Funkce definuje</b>	Výrobce	Uživatel
<b>Orientace přístrojů a jejich propojitelnosti</b>	Specifické podle funkcí, hlavně používané samostatně s omezenou propojitelností	Specifické podle aplikace, propojitelnost s návazností na počítačové sítě a periferie
<b>Klíčový komponent</b>	Hardware	Software
<b>Náklady na výrobu a opakovatelnost použití</b>	Vysoké	Nízké, opakovatelně použité
<b>Architektura</b>	Uzavřená, pevná množina funkcí	Otevřená, pružná funkčnost odrážející výkonnost výpočetní techniky
<b>Návaznost na technologický proces</b>	Pomalá - doba obměny 5 - 10 let	Rychlá - doba obměny 1 - 2 roky
<b>Náklady na vývoj a údržbu</b>	Vysoké, horší poměr výkon/cena	Nízké, dobrý poměr výkon/cena

## 1.1 Číslicový měřicí systém

Číslicový měřicí systém (ČMS) se skládá z elektronických zařízení, metod a programových sekvencí, umožňující realizovat operace nutné pro vykonávání měření (změření zkoumaných veličin, nastavení akčních veličin - generování, sběr naměřených hodnot, zpracování a ukládání). V dnešní době se již moderní měřicí a testovací systémy neobejdou bez využití počítačové techniky, a proto pod pojmem číslicový měřicí systém máme na mysli číslicový měřicí systém řízený počítačem. Pomoci počítačových číslicových měřicích systémů dokážeme sestavit automatizované měření, které nevyžaduje po jeho spuštění přítomnost obsluhy-experimentátora. Přesnost, spolehlivost a obsluha systému se odvíjí od použitého hardwarového zařízení a vytvořeného programu. [1]

### 1.1.1 Uspořádání ČMS

Počítačový ČMS může být uspořádán pomocí klasických samostatně stojících měřicích přístrojů, které jsou propojeny přes různorodé komunikační rozhraní s počítačem, nebo se také využívá spojení zásuvných měřicích karet do počítače. Příklad možného uspořádání počítačového měřicího systému je znázorněn na následujícím obrázku. [1]



Obrázek 1 Uspořádání počítačového číslicového měřicího systému [2]

### 1.1.1 Prvky ČMS

Mezi primární části ČMS zařazujeme senzory (čidla). Signály vycházející ze senzorů jsou poté dále předzpracovávány vstupními prvky systému a obvody na úpravy signálu, jako jsou například předzesilovače, filtry apod. [1]

V dalším kroku se již upravené signály kódují a putují přes vhodné rozhraní do počítače, kde se dále vyhodnocují. Aby signály mohly být dále zpracovávány v počítači, musejí již být v digitální podobě. Dochází tedy k tzv. digitalizaci signálu, která je provedena ve třech krocích.

V prvním kroku probíhá vzorkování, tzn. Rozdělení signálu na vzorky, které se snímají v pravidelných intervalech, přičemž musí být zachován Shannonův teorém. Vzorkovací frekvence musí být minimálně dvakrát větší, než maximální frekvence vzorkovaného signálu. V případě nedodržení této podmínky může docházet k jevu zvanému aliasing, kde rekonstruovaný signál je výrazně jiný od původního vzorkovaného signálu a dochází ke ztrátě informací.

Ve druhém kroku probíhá kvantování, kde každému vzorku se přiřadí kvantizační úroveň, tedy probíhá převod do číslicové formy

V posledním kroku nazvaném kódování je kvantizačním úrovním přiřazen binární kód, který ovšem ztrácí i část informace obsažené v původním signálu.

### 1.1.2 Programování ČMS

Při vytváření měřících aplikací se využívá programové vývojové prostředí, které může být v případě potřeby kdykoli průběžně modifikováno. Díky tomu si uživatelé sami mohou navrhnout a sestavit vlastní měřicí systém. Programováním ČMS máme na mysli tvorbu programové aplikace (uživatelského rozhraní), určené pro řízení jednotlivých částí, nebo celé aplikace. Vlastní programování je ovlivněno různými faktory, jako je typ řídicího modulu (počítače), použitého operačního systému a vývojového prostředí. Nejčastěji používaný operační systém (OS) Ms Windows má limitovanou možnost řídit časový tok dat uživatelem. Proto se v aplikacích náročných na výkon používají speciální kategorie ČMS, tzv. Real-Time měřicí systémy. Tyto systémy využívají speciálním druhem přístroje (hardware) s velmi rychlým procesorem a speciálním OS označeným jako RTOS. [1]

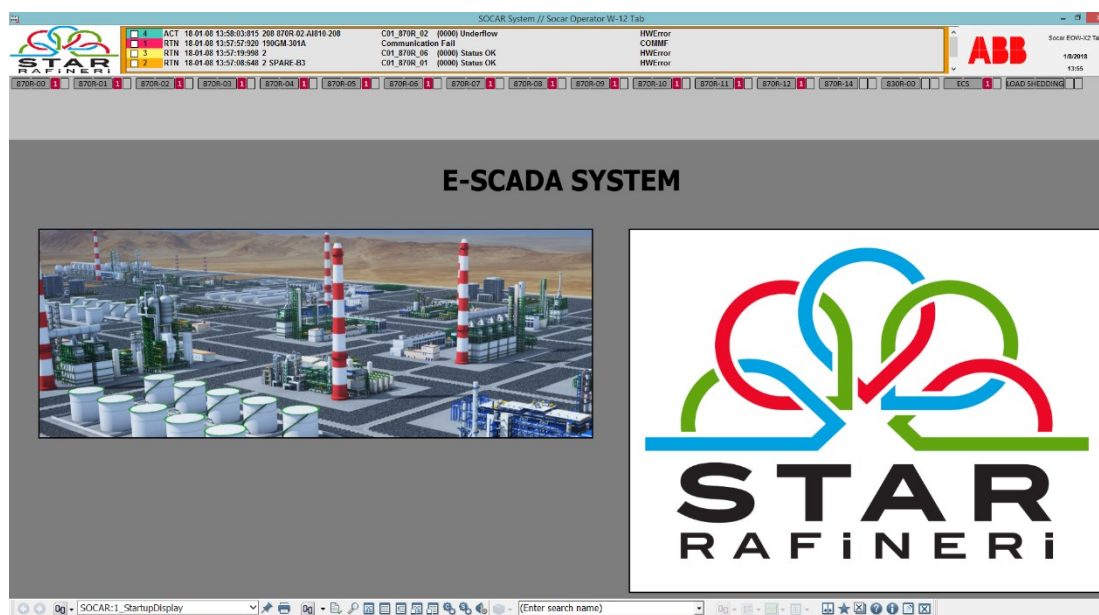
### 1.1.3 Rozdělení ČMS

Tyto systémy můžeme v obecném pohledu modifikovatelnosti rozdělit na systémy otevřené a uzavřené. V otevřeném systému je řízení založeno např. na hlavním počítači (PC, průmyslový počítač, řídicí jednotka modulárního systému apod.), u kterého je možnost kdykoliv modifikovat, nebo doplňovat systém o nové moduly zajišťující další rozšíření funkce. Tato otevřenost může být také docílena v různých vrstvách struktury ČMS, a to pomocí společné komunikace několika uzavřených ČMS. Nepostradatelnou vlastností tohoto systému je i jeho případná modularita. Naproti tomu pod pojmem uzavřený systém si můžeme představit systém založený na jednoúčelovém systému s integrovanou elektronikou. Jako například použití autorizované technologie pro ovládání, zobrazení a analýzu dat. [1]



### 1.1.4 Human Machine Interface (HMI)

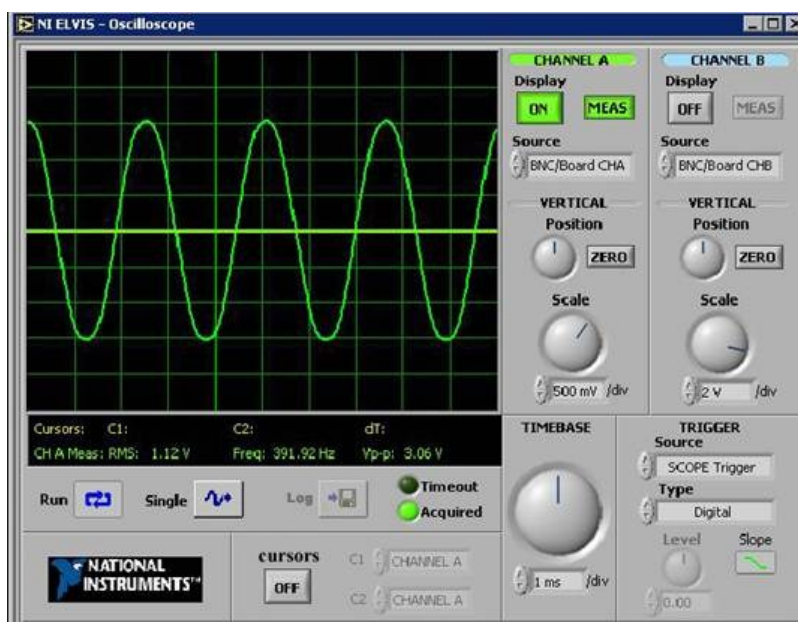
Jakýkoli číslicový měřicí systém musí pro komunikaci mezi systémem a operátorem používat nějaké zařízení. Tímto pojmem (HMI), se označuje rozhraní na pomezí člověk-stroj. V dnešní době se jedná hlavně o dotykové panely, na kterých běží mnohdy složitá aplikace, jako je například chod elektrárny. Tato aplikace může obsahovat alarmy a trendy, které se zobrazí většinou při poruchovém stavu apod.



Obrázek 2 Dotyková obrazovka HMI rozhraní

## 1.2 Virtuální měřicí přístroj

Díky současné moderní technologii je možné dříve složité analogové obvody nahradit měřicím, data zpracovávajícím DAQ (Data AcQuisition) zařízením a DSP (Digital Signal Processing) softwarem, kde je poté vše řízeno z hlavního počítače. Takto vzniká tzv. virtuální přístrojová technika, pracující na principu odstranění složitého návrhu elektroniky a jejího ladění za použití pouze jednoho měřicího DAQ zařízení pro více různých aplikací. Hlavní výhodou tedy je, že finální podobu a použití ČMS určuje programátor-uživatel a ne výrobce zařízení. Úkolem virtuálního měřicího přístroje (virtual instrument) je sběr, analýza a uložení dat, reprezentující reálné signály, převážně softwarově podle vytvořených algoritmů a programových sekvencí. Měření se tedy ve virtuálním měřicím přístroji provádí softwarově. Následující obrázek znázorňuje příklad čelního panelu virtuálního osciloskopu (vytvořeného v prostředí LabVIEW, National Instruments). [1]



Obrázek 3 Virtuální osciloskop [3]

Charakteristickou vlastností virtuálního číslicového měřicího systému je možnost přechodu na novou verzi hardwaru nebo softwaru, bez nutnosti zásadní změny v provedení systému. Díky této vlastnosti můžeme současně vylepšit výkon za využití menších nákladů. Využití virtuální instrumentace najdeme také v průmyslu, kde robustní průmyslové počítače používají stejné platformy a protokoly pro přenos dat jako klasické osobní počítače. Díky tomu se zaručí snadná přenositelnost aplikace z laboratorních podmínek do provozu. Při programování virtuálních měřicích přístrojů využíváme různé programové nástroje, jako jsou přístrojové ovladače měřicích zařízení a knihovny podprogramů využívané pro začlenění do nadřazeného programu. Způsob, jakým je používán daný měřicí hardware pak ovlivňuje program vytvořený na základě volání těchto prostředků [1]

## 1.3 Proces měření a jeho fáze

Většinou je měření obvykle chápáno jako proces extrace jisté informace z daného signálu. Ve zjednodušené formě může jít například o stanovení velikosti jisté (měřené) veličiny (např. efektivní hodnota střídavého proudu). Zároveň by měla vždy být oceněna kvalita tohoto procesu (chyby, nejistoty apod.). V procesu měření se používá široká škála prezentace měřených signálů a v nich obsažené žádané (cílové) informace. Výsledkem měření je objektivní a kvantifikované poznání (identifikace) měřeného jevu, procesu, objektu, nebo systému. Pomocí analýzy procesu měření a zpracování měřených dat můžeme dojít k následujícímu obecnému schématu pro proces měření.[4]

### 1.3.1 Fáze sběru dat a řízení technologického procesu

V této první fázi procesu měření jde o získávání tzv. surových dat - nejčastěji se v moderních měřicích systémech jedná o převod měřené veličiny na číselnou hodnotu a následné uložení do paměti, případně zobrazení na displeji.

V této fázi se můžeme setkat s těmito typickými způsoby sběru dat přes:

- zásuvné multifunkční karty
- měřicí přístroje vybavené rozhraním RS232
- měřicí přístroje vybavené rozhraním GPIB
- VXI měřicí systémy
- PLC (programovatelné logické controlery)
- průmyslové I/O systémy [4]

### 1.3.2 Fáze analýzy naměřených dat

Ve druhé fázi procesu měření je nutné odstranit nežádoucí složky měřených signálů (odstranit rušení), statistického vyhodnocování (např. výpočet středních a efektivních hodnot), také musíme vypočítat další veličiny z veličin měřených (např. nepřímé měření odporu pomocí měření napětí a proudu.

Mezi možné nástroje analýzy patří zejména:

- digitální zpracování signálu
- digitální filtrace
- statistika
- operace s poli [4]

### 1.3.3 Fáze prezentace naměřených a analyzovaných dat

Na závěr v této poslední fázi je žádoucí tyto naměřené a analyzované data prezentovat. Prezentace by měla mít určitou formu, např. protokolu, grafu, nebo uložením do datových souborů atp.

Mezi často volené prezentační nástroje patří:

- grafické rozhraní k uživateli
- síťové aplikace
- archivace v souborech [4]

### 1.4 Vhodné programovací jazyky

Pokud je ve virtuálním měřicím systému jasně daný použitý hardware (měřicí přístroj s rozhraním, počítač s měřicí kartou, VXI měřicí systém, programovatelný automat apod.), je třeba také k němu zvolit vhodný softwarový nástroj pro tvorbu měřicí aplikace. Postačí nám k tomu i některý ze základních programovacích jazyků, jakou jsou například:

- Basic - V dnešní době již málo používaný. V jeho šlépějích jde dnes Visual Basic, jehož uplatnění je zejména pro měřicí aplikace.
- C - jeden z nejčastěji používaných jazyků poslední doby, zejména v technické praxi. Větší využití má zejména objektová varianta C++
- Pascal - Ač se zdá, že se již tento programovací jazyk nepoužívá, tak opak je pravdou. Díky nástrojům firmy Borland, jako jsou Borland Pascal nebo Delphi. [4]

#### 1.4.1 Problematika základních programovacích nástrojů

V případě použití některého ze základních programovacích nástrojů pro měřicí úlohy se mohou vyskytnout dva problémy.

Jeden z nich naráží na tvorbu, ke které je potřeba spoustu času. Často také syntaxe jazyka je komplikovaná a díky tomu může dojít k tomu, že i pro samotného autora může být někdy kód špatně čitelný, zvláště pokud se k němu vrátí po nějaké době.

Druhý problém spočívá v kladení velkých požadavků na podrobnou znalost hardwarového řešení. Musí být napsány všechny funkce zajišťující podporu komunikačních protokolů jednotlivých rozhraních, jenž často ani nejsou implementovány v programovacích jazycích tohoto typu. Těmito funkcemi myslíme například funkci pro obsluhu přerušení, nebo také funkci pro bezprostřední přístup do paměti atd.

Tuto problematiku se v poslední době daří překonat pomocí produktů tzv. kategorie CASE (Computer Added Software), které jsou hojně využívány. Vývojem a návrhem těchto softwarových systémů - vývojových prostředí, obsahujících většinou spousty užitečných nástrojů potřebných pro navržení softwarové aplikace, je na světovém trhu celá řada firem, která se tímto zabývá. [4]

## 1.5 Produkty vývojových prostředí na světovém trhu

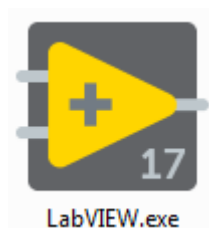
Produkty vývojových prostředí na světovém trhu pro oblast měření můžeme rozdělit do těchto kategorií:

- HP VEE - od firmy Hewlett-Packard (grafické programování v prostředí Windows)
- Test Point - od firmy Keithley (grafické programování v prostředí Windows)
- Dasy Lab - jednoduchý systém grafického programování
- Control Panel (Alcor Zlín) - grafické programování v prostředí DOSu
- Control Web (Alcor Zlín) - grafické programování v prostředí Windows
- LabWindows pro DOS - od firmy National Instruments - textově orientovaný vývojový systém
- LabWindows/CVI - textově orientovaný vývojový systém pro platformu Windows
- LabVIEW - grafické programování v prostředí Windows a na různých platformách (McIntosh, PC, Sun, HP Unix) [4]

## 1.6 LabVIEW

LabVIEW je program, umožňující vytvořit softwarovou aplikaci, které se říká virtuální přístroj. Na rozdíl od standartních programovacích jazyků, jako je např. jazyk C, se jedná o objektově orientovaný programovací nástroj, tedy jedná se o G -jazyk (graphics). Pomocí Labview můžeme vytvořit nejrůznější aplikace, od jednoduchých až po složité, které díky tomu, že jsou navrženy virtuálně, ušetří čas a peníze, také možnost kdykoliv aplikaci pozměnit či doplnit o nové nástroje je jeho nespornou výhodou. [5]

Historie programovacího nástroje LabVIEW se datuje už k roku 1976, kdy byla založena firma National Instruments. Vlastníci této firmy jsou: James Turchard, Jeffrey Kodosky a William Nowlin. V tomto roce pracovali na aplikacích pro sonar pod záštitou amerického námořnictva na univerzitě v Texasu. Hlavním milníkem je ale rok 1986, kdy firma NI uvádí na trh vývojové prostředí LabVIEW. V prvopočátcích byl LabVIEW orientovaný pro počítače Apple Macintosh. Až v roce 1992 byl uveden LabVIEW pro Windows PC a UNIX Workstation. Pracovní okna programu LabVIEW se skládají ze dvou navzájem propojených částí a ti konkrétně z čelního panelu a blokového diagramu. Program je napsán ve Vývojovém prostředí LabVIEW ve verzi 2017 [5]



*Obrázek 4 Ikona vývojového prostředí*

### 1.6.1 Čelní panel

Čelní panel určuje vzhled aplikace a její chování. Je to vlastně obrazovka našeho virtuálního systému. Obsahuje ovládací a indikační prvky, pomocí kterých můžeme řídit běh programu, zadávat hodnoty a získávat informace o zpracovaných výsledcích. Všechny objekty jsou libovolně upravitelné, ať už jde o jejich velikost, grafické zobrazení, či zobrazení názvu objektu, nebo popisku co daný objekt vykonává a jak funguje. Obecně můžeme prvky na čelním panelu rozdělit do skupin a to na vstupy a výstupy, dělení se provádí podle toho, zda prvek je vstupem či výstupem.

Mezi základní prvky čelního panelu, řadí se mezi vstupy, patří různé podoby ovladačů, jako je např. tlačítko (Button), otočný knoflík (Knob), posuvný ovladač (Slide), nebo textový a číselný ovladač pro vkládání textů nebo numerických hodnot (Numeric Control, Text Control) atd.

Výstupy nazýváme podle jejich zobrazovací funkce (Indicator), mezi které patří zejména měřidlo (Meter), zobrazovač textu a numerických hodnot (Text Indicator, Numeric Indicator), kontrolka (LED), proužkový diagram (Progressbar), různé druhy grafů apod. Na čelním panelu najdeme také nástrojovou lištu, na které se nacházejí tlačítka pro ovládání aplikace.

### 1.6.2 Blokový diagram

Okno blokového diagramu je druhou sdruženou obrazovkou v každé aplikaci. Po zapnutí aplikace se nám zobrazí většinou jen čelní panel (Front Panel), ale obrazovku blokového diagramu (Block Diagram) můžeme zobrazit pomocí stisknutí zkratky <Ctrl+T>, nebo pomocí <Ctrl+E>, kdy dochází k přepnutí mezi okny. Zkratka <Ctrl+U> automaticky seřadí blokový diagram. Obrazovka blokového diagramu se využívá pro programování samotné aplikace, jejíž části jsou propojené s prvky na čelním panelu.

Zdrojový kód je reprezentován jako grafický objekt. Blokový diagram může občas připomínat vývojový diagram, který odpovídá taktéž řádkům textu v textově orientovaných jazycích. Mezi základní prvky blokového diagramu patří Struktury, mezi které patří While smyčka, For smyčka, Case struktura, Event struktura apod. V podsložce Array zase najdeme objekty pro práci s poli, záložka Numeric obsahuje proměnné pro matematické operace, Boolean pro tzv. Boolovské operace, což jsou logické apod.

Nástrojová lišta blokového diagramu se moc od nástrojové lišty čelního panelu neliší. Obsahuje stejné základní ikony a má také ikony navíc, které slouží například pro zobrazení kroku dat (Highlight Execution), ikonu pro zachytávání hodnot (Retain Wire Values) a tři ikony pro krokování (Step into, Step Over, Step Out). Tyto ikony využíváme hlavně při ladění programu tzv. debuggingu

V Labview je drátování v blokovém diagramu chytře vymyšleno, neboť již na první pohled rozeznáme, o jaký datový typ se jedná. Každá barva totiž zastupuje určitý datový typ. Oranžová barva drátu reprezentuje čísla s plovoucí čárkou neboli floating point. Modrá reprezentuje celočíselné hodnoty neboli integer. Logickým operacím pomocí jedniček a nul přísluší barva zelená (boolean). Textovým řetězcům (string) je přiřazena barva purpurová.

Labview také rozlišuje, v jaké dimenzi se nacházíme, pokud se jedná o Skalární veličiny, drát je úzký, v případě že se pohybujeme v dimenzi 1D pole, drát je o něco širší, u 2D pole je v případě celočíselných hodnot a čísel s plovoucí čárkou drát o něco málo širší než v 1D poli, ale liší se tím, že je rozdělen bílým pruhem na dva dráty blízko sebe. To neplatí u logických hodnot a textových, kde je drát jen o něco širší než v případě 1D pole. Konektor slouží pro definování vstupů a výstupů při tvorbě VI, ikona udává vzhled daného VI, nebo subVI.

V Labview se tok dat (Data Flow) řídí pouze jedním pravidlem. Pokud jsou na všech vstupech k dostání potřebná data, může uzlový blok začít vykonávat operace a po zpracování je pošle dál ke všem svým výstupům. Na rozdíl od sekvenčního zpracování události, kde až po ukončení jednoho úkonu může následovat další, tudíž běh programu je řízen posloupností příkazů, mohou zde jednotlivé bloky pracovat i současně. Díky tomu můžeme realizovat paralelní větve ve zpracování aplikace. [5]

## 2 Chladicí trysky

Tryska neboli dýza je mechanické zařízení (kanál), u kterého dochází k plynulé změně průtočného průřezu. Toto jednoduché zařízení se používá k rozpadu toku kapaliny. Tryska má často tvar trubky a je to koncová a nejdůležitější část nejrůznějších rozprašovacích zařízení. V důsledku proudění tekutiny (kapaliny nebo plynu) nastává děj, při němž dochází ke snížení tlaku a nárůstu kinetické energie (rychlost tekutiny se zvyšuje). Samotná tryska trysky je jednou z nejdůležitějších a nejméně nákladných částí postřikovacího systému. [6]

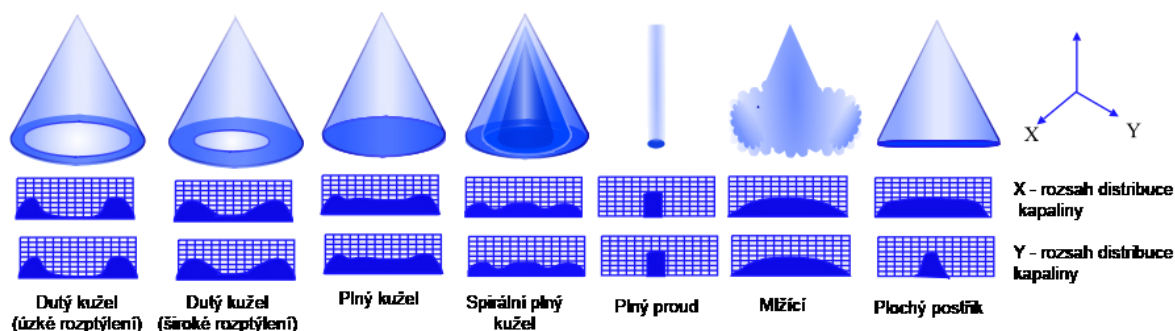
V naprogramované aplikaci se použítá data z chlazení dále zpracovávají pro vytvoření 3D grafu. Tento graf může být dále použit pro vytvoření simulace. Z vytvořené simulace následně vyplyne ideální nastavení trysek, které může například obsahovat: kolik trysek má být, jak mají být pootočený, jaký mají mít chladicí výkon apod.

Tryska provádí čtyři základní funkce:

- rozprašuje kapalinu na kapičky
- rozptýlí kapičky v určitém vzoru
- měření kapaliny při určité průtokové rychlosti
- zvyšuje rychlost kapaliny

### 2.1 Druhy chladicích trysek

Chladicí trysky mohou být rozděleny podle několika hledisek. Jedním z možných rozdělení je například z pohledu její konstrukce, nebo také z hlediska jejího postřiku tj. z hlediska obrazu, který vytváří dopadající kapalina na povrch. Druhy postřiků se dělí na 5 základních: plochý, plný proud, plný kužel, dutý kužel a mlžící.

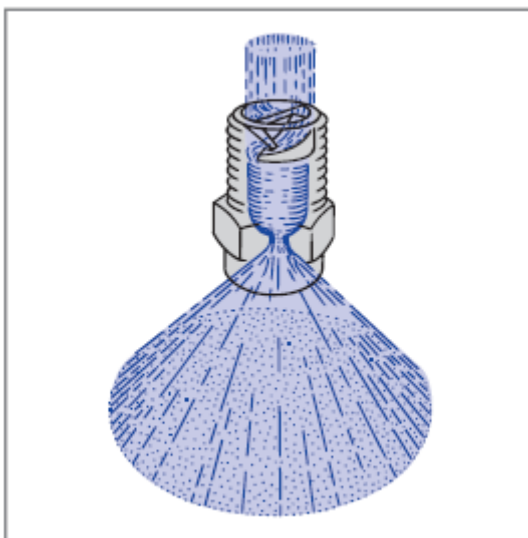


Obrázek 5 Základní druhy postřiků [7]



### 2.1.1 Axiální trysky s rozstříkem plného kužele

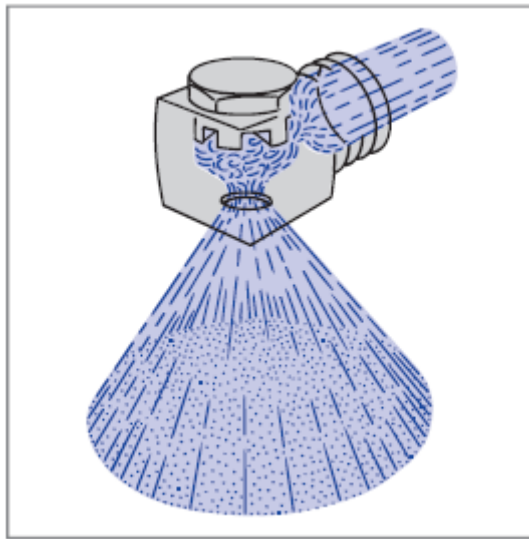
Mezi velké přednosti těchto trysek patří schopnost precizního, rovnoměrného rozptýlení kapaliny po celé trajektorii, tj. po celé ploše kruhu. Tato vynikající rozptylovací vlastnost jim je umožňována díky soustředěnému proudu kapaliny do středu prostoru, kde poté kapalina začíná rotovat. Vysoká provozní jistota je zabezpečena díky vestavěnému pevnému tělesu požadovaných rozměrů. Toto těleso zabezpečuje vysokou provozní jistotu díky masivním průtočným otvorům. Mezi hlavní výhody této trysky zařazujeme to, že dokáže kapalinu velmi rovnoměrně rozptýlit, rozsah jejího objemového průtočného množství je velký a také tryska umožňuje rozsáhlý výběr úhlů rozstříků. [8]



*Obrázek 6 Axiální tryska s rozstříkem plného kužele [8]*

### 2.1.2 Tangenciální trysky s rozstříkem plného kužele

Tangenciální trysky s rozstříkem plného kužele se využívají zejména pro rozprašování cirkulovaných kapalin, nebo kapalin obsahující velké množství pevných látek a také pro požární ochranu. Do vířivé komory je tangenciálně přivedeno rozprašované médium a poté je uvedeno do rotace. Tyto trysky dokáží pracovat bez vnitřní vestavby, to jim umožňuje zmenšit riziko ucpávání. Tvar plného kužele je docílen specifickými drážkami v tělese trysky. Tímto je kapalina soustředěna ke středu paprsku, což ji zaručuje rovnoměrné pokrytí plochy s velmi stabilním úhlem paprsku. Výhodami této trysky je nízké riziko k ucpání, velká provozní jistota a stabilní úhel rozstříku. [8]



*Obrázek 7 Tangenciální tryska s rozstříkem plného kužele [8]*

### 2.1.3 Svazové trysky

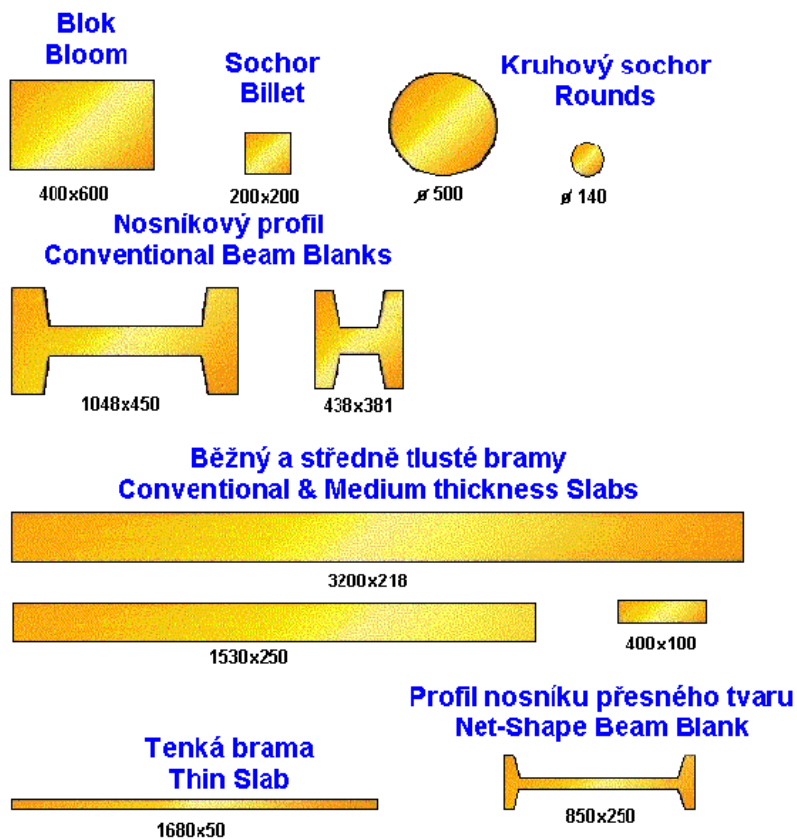
Díky tomu, že jsou tyto trysky složeny z více jednotlivých trysek, dokáží ostříkovat velké plochy. Většinou záleží na jemném, mlhovém rozprašování ve tvaru plného kužele s relativně velkým objemovým průtokem. Proto se využívají při chlazení páry, nebo při procesech sorpce plynů, při procesech zachycování prachu. Velkými přednostmi těchto trysek je vytváření jemných kapkových spekter, které celkově tvoří tvar plného kužele s hustou vrstvou vodního víření. Obvyklými tryskami, které mají stejný výkon a jen jeden otvor, toho není možné dosáhnout. Disponují jednou z nejlepších účinností, která je zajištěna zvětšenou plochou povrchu kapek rozprašované kapaliny. [8]



*Obrázek 8 Svazová tryska [8]*

## 2.2 Využití chladicích trysek v průmyslu

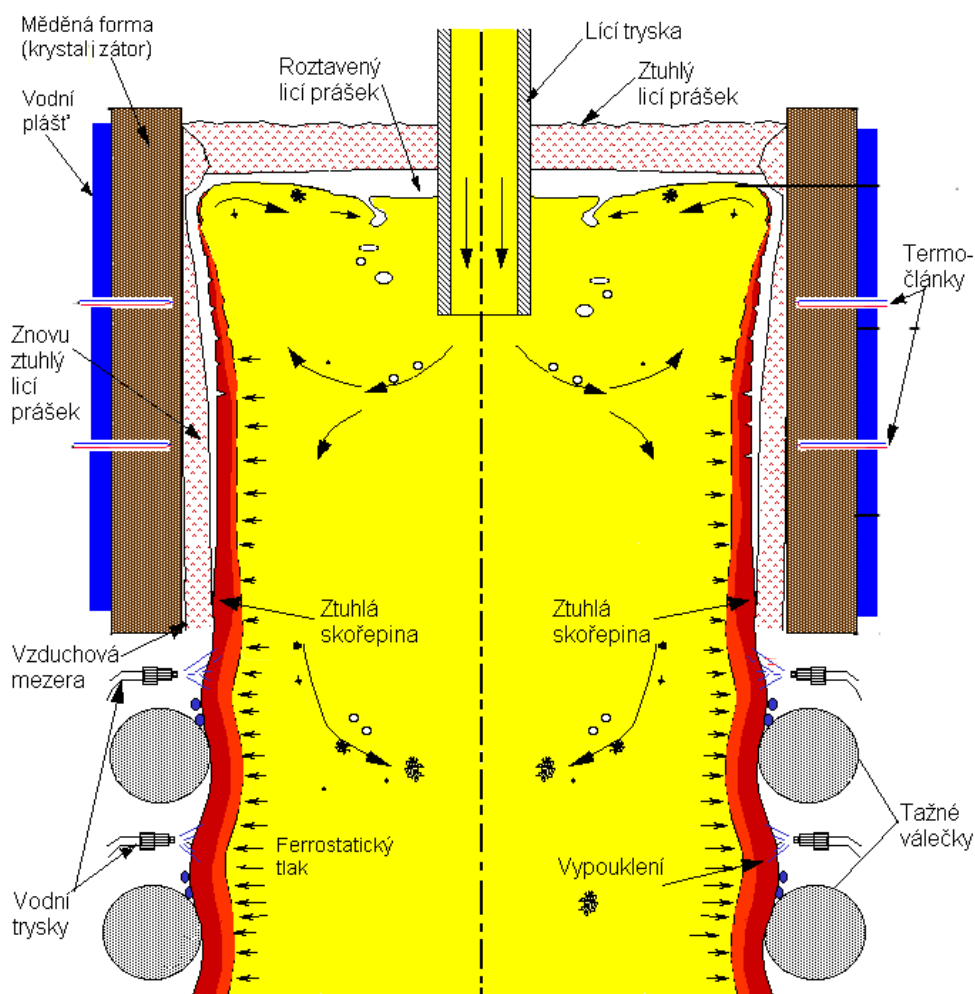
Chladicí trysky jsou součástí zpracovaného mechanismu pro plynulé odlévání oceli. Výsledný tvar oceli je prvním kritériem při návrhu ZPO (zařízení pro plynulé odlévání). Mezi nejčastěji používané odlitky patří zejména: sochor, blok, brama, nosníkový profil nebo kruhový profil. Jejich uplatnění najdeme ve fázi pro sekundární chlazení, kde se chladicí trysky vyskytují. [9]



Obrázek 9 Typy odlévaných profilů [9]

Nejprve však ocel začíná v pánvové revolverové hlavici, do které je přesunuta z elektrických pecí nebo konvertorů. Dále pokračuje do části nazvané mezipánev. Přesunutí je zajištěno vyzvednutím pánve na otočný držák. Mezipánev má většinou obdelníkový tvar a jsou z ní prostřednictvím ponorných licích trubic plněny krystalizátory s více proudy. Díky tomu se vyskytuje u sochorového lití komplikovanější problematika v lici rychlosti a teploty přehřátí, jelikož je nutno ji řešit pomocí plnění více proudů. [9]

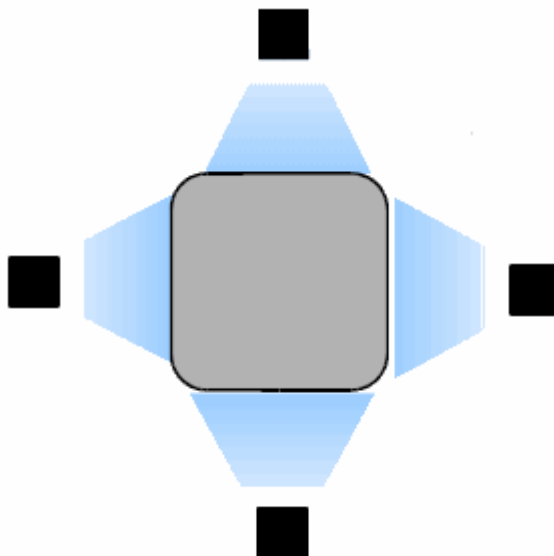
Následně odlitek putuje krystalizátorem (vodou chlazená měděná forma), otevřeným krabicovým objektem, jehož hlavním úkolem je zajištění ztuhnutí povrchové skořepiny takové tloušťky a pevnosti, aby udržela obsah tekutého jádra při vstupu proudu do sekundární zóny chlazení. Hlavními prvky jsou tvar, tloušťka skořepiny, stejná teplota skořepiny při posuvu, zároveň nesmí dojít k vnitřním povrchovým vadám s minimem pórů a minimálním množstvím nekovových vměstků. Stěny krystalizátoru jsou chlazené vodou a odvádí teplo z tuhnoucí oceli. Důležitá je také oscilace krystalizátoru, která zabezpečuje minimální tření mezi natuhlou skořepinou a pracovním povrchem krystalizátoru, také zamezuje přetržení skořepiny a výpustu tekuté oceli (tzv. průval). Tření je redukováno pomocí lubrikantu, tvořeného oleji či licími pásky. [9]



Obrázek 10 Schéma funkce krystalizátoru a základních pojmů [9]

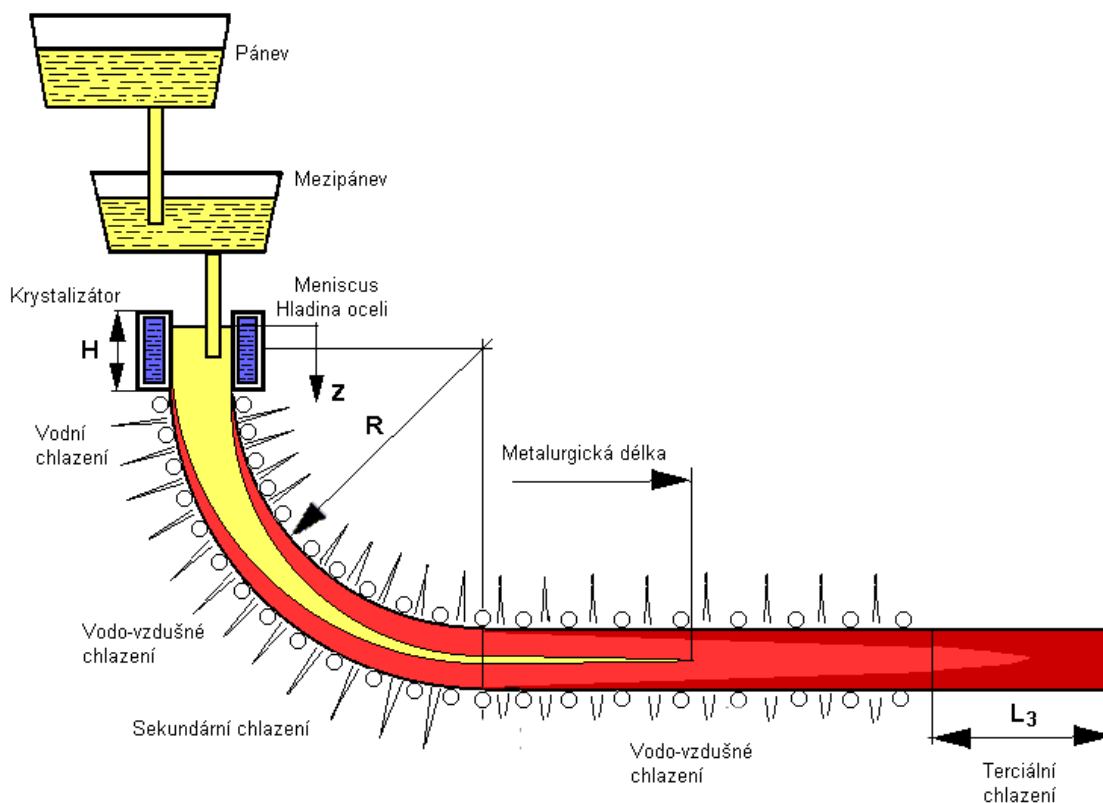
V tomto okamžiku přicházejí na řadu chladicí trysky, a to díky tomu, že odlitek, který má ještě pořád tekuté jádro, putuje z krystalizátoru do zóny sekundárního chlazení, kde je ostříkován vodou. Pomocí vodících a opěrných válečků je odlitek posouván. Podstatný vliv na povrchovou a podpovrchovou kvalitu předlitu, především na zrod povrchových a vnitřních trhlin a rhomboiditu má intenzita a konstantní chlazení v sekundární oblasti. Přestože jsou původní příčiny zárodků těchto defektů přikládány procesu chlazení v krystalizátoru, nerovnoměrně a nekvalitně nastavené sekundární chlazení může kvalitu výroby dále prudce zhoršit. Ve většině případů je sekundární chladicí systém tvořen sérií oblastí chladicích trysek, odpovídající segmentu s řízeným chlazením tuhnoucího proudu procházejícího strojem. Jako chladicí tryskající médium se využívá voda nebo kombinace vody a vzduchu. Uplatňovány jsou zde všechny tři způsoby přenosu tepla: vedení, konvence a radiace. [9]

Zároveň při chlazení odlitku vodou, jsou posouvány pomocí skupiny válců, které jsou pokaždé na protilehlých stranách. Primárním cílem válců je zaručit posun tuhnoucího proudu a současně zajistit dále tuhnoucí skořepinu a válcovat povrch. [9]



*Obrázek 8 Trysky sekundárního chlazení [10]*

Neméně důležité jako zachovat tvar odlitku je převést ho z vertikálního směru do horizontální roviny. Při rovnání ztuhlé skořepiny dochází na vnějším oblouku tah a na vnitřním tlak. Konečné napětí je závislé na poloměru oblouku a mechanických vlastnostech. Pokud bude napětí na vnějším rádiu příliš vysoké, je vysoká pravděpodobnost, že budou vznikat povrchové trhliny a jiné nedostatky, které mají dopad na jakost polotovaru. Tato napjatost je zpravidla vyrušena uplatněním co největšího rovnacího oblouku. [9]



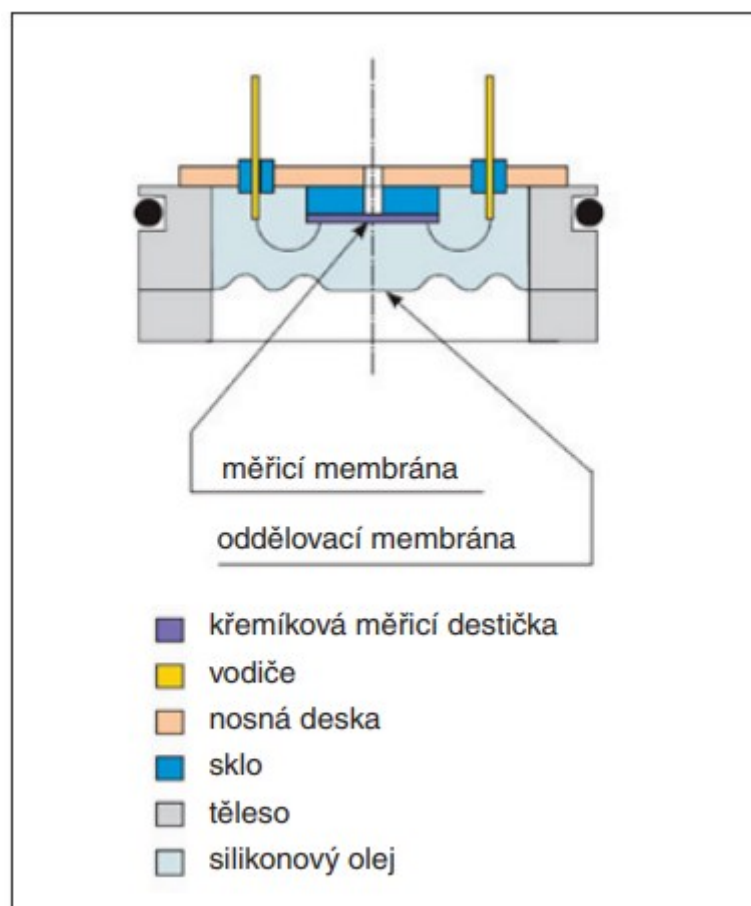
Obrázek 9 Schéma plynulého odlévání [9]

### 3 Tvorba softwarové aplikace pro senzory průtoku, tlaku a hmotnosti

Součástí navrhnuté aplikace je tlakoměr Keller pr-23s v provedení 4-20 mA, dále indukční průmyslový průtokoměr Comac Cal Flow 38 v provedení 4-20 mA, elektronická váha Kern 732-32. Data ze snímačů pro průtok a tlak, jsou reprezentována pomocí proudu 4 až 20 mA. Data z elektronické váhy jsou posílána pomocí sériové linky. Specifikace použitých přístrojů, jejich praktické zapojení a implementování do kódu je popsáno v následujících kapitolách.

#### 3.1 Křemíkové monokrystalické snímače tlaku

Křemíkové monokrystalické snímače tlaku se v posledních letech těší velké oblibě. Jsou sice vyráběny polovodičovou technologií, pracují ale zároveň na odporovém principu. Změna odporu v monokrystalickém polovodiči je značně vyšší naproti standartním tenzometrům, u kterých je změna odporu zapříčiněna pružnou deformací a tedy změnou geometrického tvaru. Vodivost v daném polovodiči je ovlivněna změnou (stlačením nebo protažením krystalové mřížky), která může být způsobena extrémně malou mechanickou deformací. [11]



Obrázek 10 Řez piezorezistivním snímačem s oddělovací membránou [12]



### 3.1.1 Tlakoměr Keller pr-23s

Tento typ tlakoměru je použit v této měřicí úloze. Tyto piezorezistivní tlakové snímače byly navrženy pro přesné aplikace v průmyslových prostředích pro tlaky v rozsahu od 0,2 do 1000 barů pro kapalně nebo plynné látky [13]



Obrázek 11 Snímač tlaku Keller pr-23s [13]

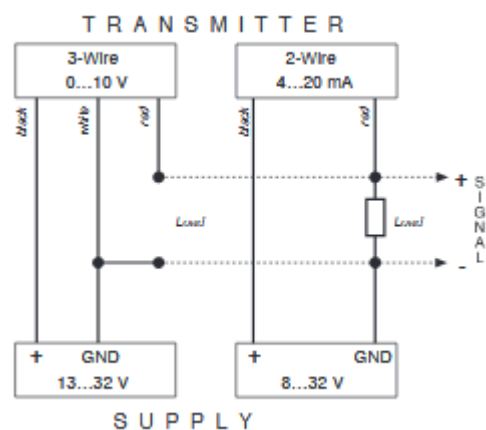
Tabulka 2 Tabulka důležitých technických parametrů [13]

<b>Napájení</b>	8-32VDC nebo 13-32VDC
<b>Rozsah</b>	-40-100 °C
<b>Výstup</b>	4-20 mA/2- Vodičově nebo 0-10V/3-Vodičově
<b>Měřicí Rozsah</b>	0,2 až 1000 bar

Tabulka 3 Elektrické zapojení [13]

#### ELECTRICAL CONNECTIONS

2-Wire Transmitter	3-Wire Transmitter	GSP Connector	Binder 723	Cable
-	GND	1	1	white
OUT/GND	OUT	2	2	red
+Vcc	+Vcc	3	3	black



Obrázek 12 Návrh elektrického zapojení [13]

## 3.2 Průmyslové indukční průtokoměry

Využití indukčních průtokoměrů při měření průmyslových aplikací se využívá více než 50 let a pořád mají široké uplatnění v různých oborech. Fungování indukčních průmyslových průtokoměrů je možné díky Faradayovu zákonu elektromagnetické indukce. Princip je založen na rychlosti proudění kapaliny, kterou reprezentuje pohyb vodiče, indukuje v homogenním magnetickém poli elektrické napětí. To znamená, že měřená kapalina musí mít alespoň minimální vodivost, neboli nezbytně nutnou minimální měrnou elektrickou vodivost, díky které se poté na elektrodách indukuje napětí úměrné průtoku. Mezi velké výhody indukčních průtokoměrů patří takřka nulové tlakové ztráty, nebo také možnost měřit i velmi agresivní a silně znečištěné kapaliny. Další výhodou je vysoká stabilita a metrologická stálost měření, která není ovlivněna teplotou, tlakem, viskozitou ani výskytem pevných částic. Díky těmto výhodám jsou často využívány při dávkovacích procesech v různých provozech. Nespornou výhodou je také to, že jsou schopny odměřit s opakovatelností již od 0,2% v širokém spektru rychlostí a velikostí. [14][15]

### 3.2.1 Indukční průtokoměr Comac flow 38

Tento typ průtokoměru je použit v aplikaci a má široké uplatnění v oblasti měření kapalin v širokém spektru odvětví průmyslu. Vyrábí se ve více variantách procesního připojení a to například: přírubové, sendvičové, závitové a také mlékárenské šroubení a svorkové. Vyhodnocovací jednotka je k dispozici ve třech provedeních. Standartní provedení (hlava), nebo provedení čelní a panelové. Průtokoměr také umožňuje rozsáhlé možnosti v připojení výstupů a komunikací do spousty řídicích systémů. [16]



*Obrázek 13 Průmyslový průtokoměr Flow 38 [16]*

Tabulka 4 Důležité technické parametry [16]

<b>Napájení</b>	230 VAC (50/60Hz), 24VAC/VDC s ochranou proti přepólování
<b>Příkon</b>	4,6 VA
<b>Výstup</b>	Impulsní/flow switch (max 400Hz) 4-20 mA, RS485 (protokol M-BUS/Mod-Bus)
<b>Měřicí Rozsah průtokoměru (Qmin/Qmax)</b>	Obousměrný pro 0,2 až 12m/s (1/60); 0,12 až 12m/s (1/100); 0,06 až 12m/s (1/200)

### 3.2.2 Proudová smyčka 4-20 mA

Protože senzory tlaku a průtoku využívají tento standart, tak je dobré se s ním seznámit a uvést důvody použití oproti jiným standardům a také kde tento standart v průmyslu najdeme.

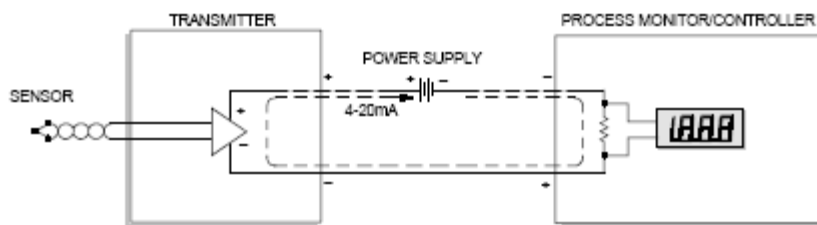
Proudová smyčka 4-20 mA je v dnešní době ještě značně používaný standart pro přenos hodnot naměřených veličin v oblasti průmyslové automatizace. Přenos na vzdálenost stovek metrů je zaručen díky velké šumové imunitě. Další nespornou výhodou je možnost napájení připojených zařízení rovnou ze smyčky. S touto smyčkou se lze setkat ve dvou verzích a to analogové a digitální. [17]

V analogové proudové smyčce jsou hodnoty vyjádřeny pomocí proudu v rozsahu 4 až 20 mA. V digitální smyčce je logická 0 reprezentována proudem 4 mA a logická 1 proudem 20 mA. Většinou se však používá analogová varianta proudové smyčky. Pro přenos digitálního signálu se ve většině případů používá proudová smyčka v rozsahu 0 až 20 mA. [17]

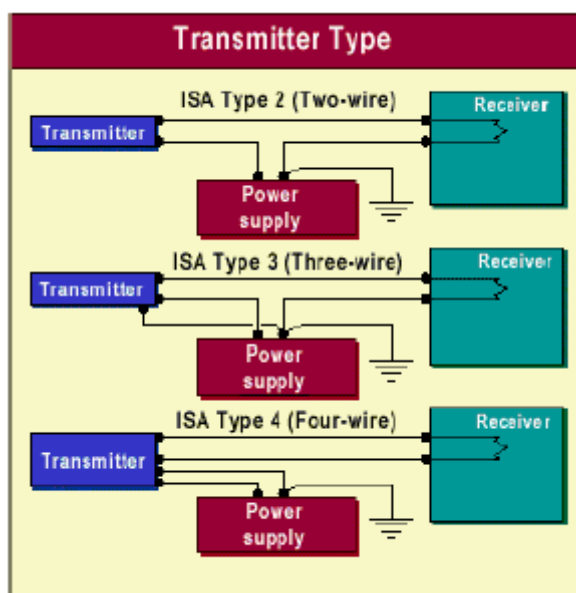
Mezi výhody proudové smyčky patří zejména to, že se vyznačuje velkou imunitou proti elektromagnetickému rušení, které se mnohdy vyskytuje v průmyslu. Další výhodou je pak možnost přenosu na velké vzdálenosti a její jednoduchost. V případě přenosového média lze smyčku provozovat pouze pomocí dvou vodičů. Existují i verze se třemi, či čtyřmi vodiči, které se však používají pro zpřesnění a zdokonalení některých parametrů. Snadné je i odhalení chyby smyčky, jako například její přerušení, které je detekováno proudem blízkým se nule. Odolnost proti rušení je zajištěna tím, že proudové vstupy zapojených zařízení (řádově desítky) mají nízký vstupní odpor. Napájet připojené komponenty lze přímo ze smyčky, nebo pokud je proudová smyčka napájena z dostatečně dimenzovaného zdroje napětí, nemá nenulový odpor vodičů (a tedy i úbytky napětí na nich) bezprostřední vliv na přenášenou hodnotu. [17]

Komponenty proudové smyčky se rozdělují podle toho, jaký vliv mají na smyčku. Aktivní vkládají do smyčky zdroj napětí. U pasivních zase na zařízeních vzniká úbytek napětí. [17]

Typická smyčka se skládá ze senzoru, který převádí měřenou neelektrickou veličinu na napěťový signál. Dále převodníku napětí – proud/vysílač, který provádí převod napětí na proud v rozsahu 4 až 20 mA. Napájecí zdroj smyčky, zajišťující napájení pro vysílač a přijímač, nebo také pro další zařízení zapojené ve smyčce, které potřebují stejnosměrné napájecí napětí. Přijímač realizuje zpětný převod proudu na napětí, případně i vyhodnocení a zobrazení. [17]



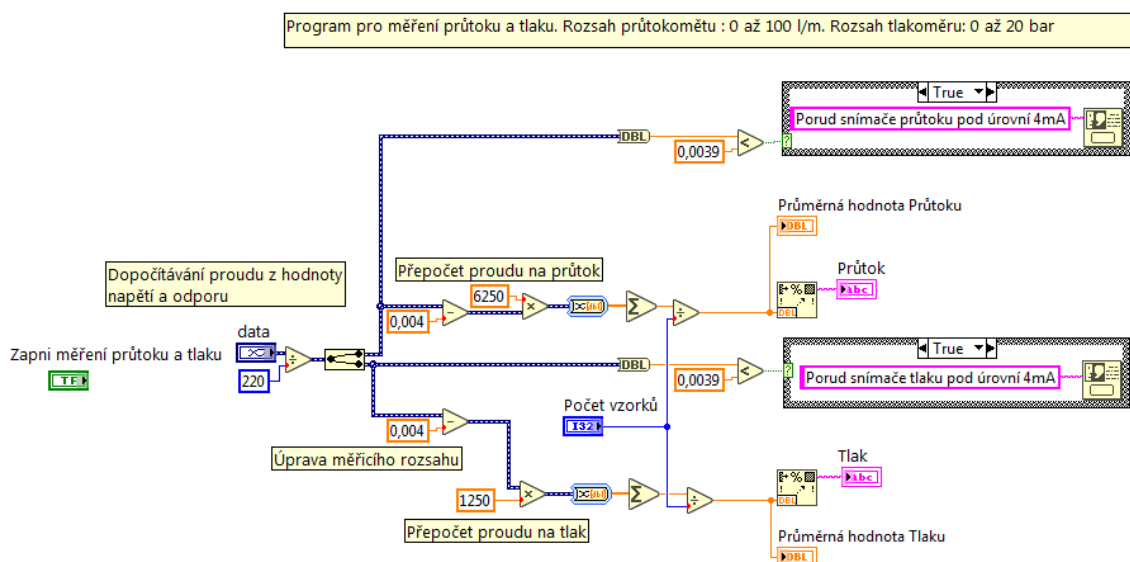
Obrázek 14 Příklad struktury proudové smyčky 4-20mA [17]



Obrázek 15 Možné zapojení proudové smyčky [17]

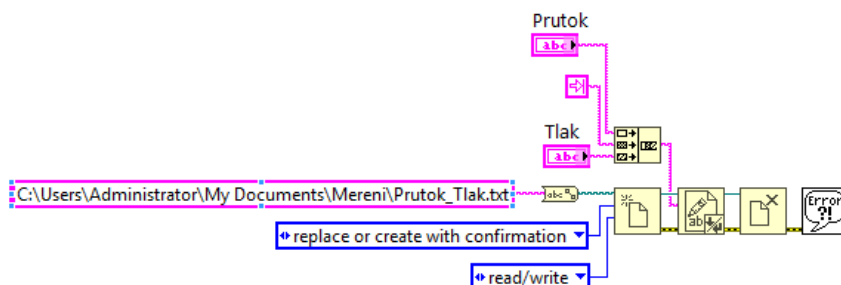
### 3.3 Implementace dat ze senzoru průtoku a tlaku do aplikace

Na níže uvedeném obrázku č.16 je kód pro měření průtoku a tlaku. Spouštěcím prvkem je tlačítko Měření Průtoku a Tlaku, díky kterému aplikace začne měřit, pokud bude toto tlačítko zmáčknuto, poté je proveden přepočítání napětí na proud pomocí použitého odporu  $220\ \Omega$ . Data vycházející z DAQ Assistantu obsahují data celého portu, proto musí být rozdělena na jednotlivé piny portu, čímž získáme zvlášť data pro průtok a zvlášť data pro tlak. Poté proběhne současná úprava měřicího rozsahu a kontrola, jestli proud neklesl pod  $4\ \text{mA}$ , v případě nějaké chyby. Po odečtení  $4\ \text{mA}$  se signál musí vynásobit konstantou, která přepočítává data na průtok, nebo tlak. Tato konstanta byla odvozena od maximálního rozsahu, v případě průtoku  $100\ \text{litrů za minutu}$ , u tlakoměru je to  $20\ \text{bar}$ . Tato hodnota se podělí hodnotou  $16\ \text{mA}$ , jakožto celkovým možným rozsahem proudu, a vyjde nám konstanta, která se násobí proudem, aby mohla vzniknout hodnota aktuálního průtoku, nebo tlaku. Ta se ještě musí podělit počtem vzorku, aby nám vznikla průměrná hodnota.



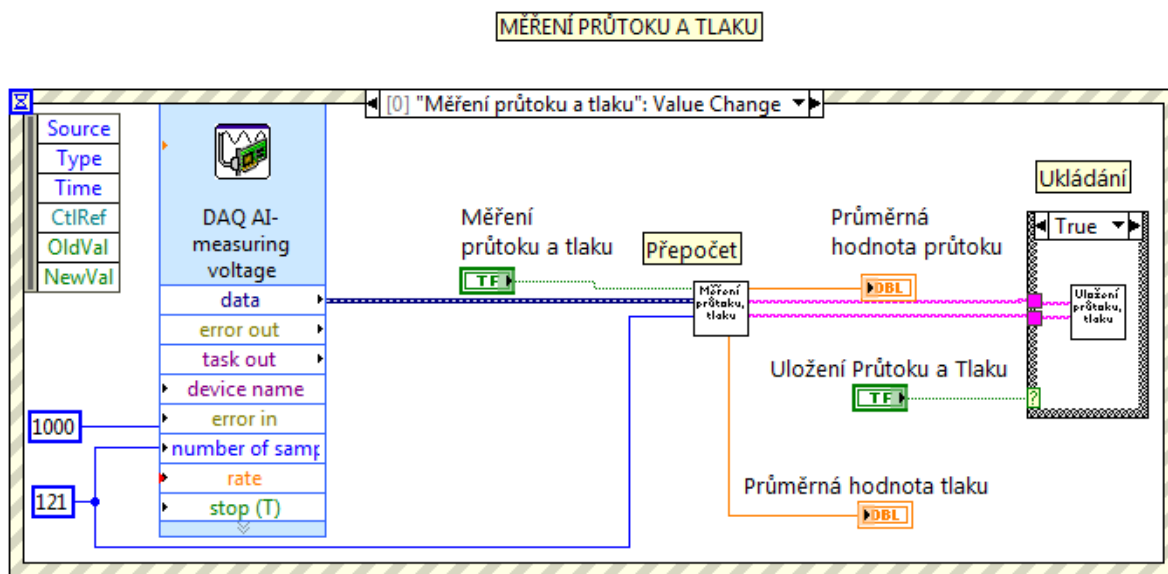
Obrázek 16 Program pro měření průtoku a tlaku

Na obrázku č. 17 je část kódu, sloužící pro ukládání hodnot průtoku a tlaku do souboru, soubor se jmenuje Prutok\_Tlak a může být přepsán novým měřením, nebo vytvořen úplně nový, pokud se jedná o úplně první měření. Hodnoty průtoku a tlaku jsou odděleny tabulátorem.



Obrázek 17 Uložení hodnot průtoku a tlaku

Na následném obrázku č. 18 je vidět celkový kód pro měření průtoku a tlaku, současně s menšími kódy, které se odborně nazývají subVI. Tyto subVI mají svou vlastní strukturu pro uložení a jsou podobné podprogramu v textových programovacích jazycích. Vnitřní kód subVI pro přepočítání je vidět na obrázku č. 16 a vnitřní kód subVI pro uložení dat je na obrázku č. 17



Obrázek 18 Celkový program pro měření průtoku a tlaku včetně subVI

### 3.4 Elektronická váha Kern 572-32

Tato váha se používá pro přesné vážení, kompaktní vážení a plošinovému vážení. Komunikace probíhá přes sériovou komunikaci RS232.

Váha je jednou z nejdůležitějších částí mé aplikace, protože je použita pro měření přírůstků vody, které se dále využijí při tvorbě 3D grafu a tyto data by mohla být také použita při výpočtu chladicího výkonu. První měření váhy vody v kádince proběhne před otevřením trysky, kdy se změří počáteční hmotnost, tedy počáteční množství vody v kádince. Poté se otevře tryska a probíhá chlazení. Po tomto kroku se tryska zavře a následným krokem je další změření váhy vody. Tato data dále slouží k výpočtu přírůstku hmotnosti (při čerpání vody z kádinky dochází k úbytku hmotnosti). Celkem je tento krok opakován 121x. Z těchto hodnot je vytvořena matice hodnot, z které se dále tvoří 3D graf a počítá.



*Obrázek 19 Elektronická váha Kern 572-32 [18]*

### 3.4.1 RS232

RS232, je označení pro sériovou komunikace. Jedná se o rozhraní mezi dvěma zařízeními. Jednotlivé bity jsou přenášeny za sebou (proto označení sériová linka). Jedné se o asynchronní typ komunikace, která začíná sestupnou hranou (synchronizační), poté následuje Start bit, pak Datové slovo, následně Paritní bit a jeden nebo více Stop bitů. Nejjednodušší zapojení sériové linky je pomocí dvou vodičů, TxD (Transmit Data), který posílá data a GND (Ground), zem, proti které jsou určeny hodnoty napětí na pinech. Nejrozšířenějším zapojením je pak spojení TxD z prvního konektoru s pinem RxD (Receive Data) na druhém konektoru a naopak. Tímto spojením vznikne plně duplexní přenos po třech vodičích: TxD-RxD, RxD-TxD, Ground-Ground. Přenos dat je řízen softwarově.

Pro zahájení komunikace je nutné, aby měly obě zařízení stejné komunikační parametry. Základními komunikačními parametry jsou: rychlost komunikace v baudech, start a stop bity, který port COM je použit, parita sudá nebo lichá, počet stop bitů. Počet datových bitů apod. Nejpoužívanějším konektorem této komunikace je D-Sub, 9 pinový. [18]



Obrázek 20 Konektor D-Sub-9 pinový [18]

### 3.4.2 Popis přenosu dat

Pomocí povelů dálkového ovládání, které se přenášejí na váhu jako ASCII znaky, je možnost spouštět následující funkce váhy:

- t Tárování (nulování)
- w Váhová hodnota, která může být i nestabilní, odesílá se z váhy přes sériové rozhraní
- s Stabilní vážení, hodnota se z váhy odesílá přes sériové rozhraní

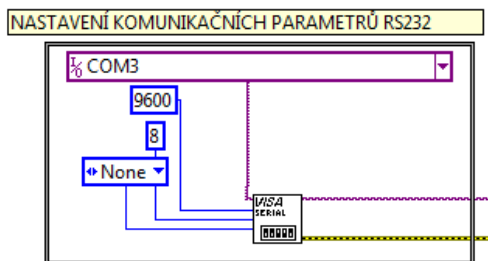
Po přijmutí znaku w nebo s vyšle váha bez přerušení tisku mezi znaky.

Bit-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	B*	N	N	N	B	B	B	B	B	0	.	0	0	E	E	E	CR	LF
N	=	Počítadlo																
B*:	=	Prázdné, nebo v případě % autotárování v oblasti nuly.																
B, 0, , g:	=	Prázdné, nebo navážená váha s jednotkou, v závislosti na zatížení váhy.																
E	=	Jednotkou																
CR:	=	Carriage Return																
LF:	=	Line Feed																

Obrázek 21 Popis přenosu dat [18]

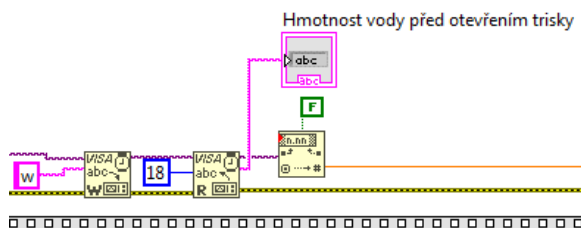


Na obrázku č. 22 je znázorněno nastavení komunikačních parametrů sériové linky v programu, které se nastaví jednou na začátku programu, a poté se již pouze posílají příkazy pro čtení a zápis hodnot.



Obrázek 22 Nastavení komunikačních parametrů sériové linky

Obrázek č. 23 zobrazuje průběh sériové komunikace. Nejdříve je na zapisovací blok poslán znak „w” k tomu, aby mohla být sejmuta aktuální hodnota z měřicí váhy, poté tato data dlouhá 18 bitů přečteme v bloku read. Dále je hodnota převedena ze string na double číslo, abychom s ní dále mohli pracovat.



Obrázek 23 Část kódu pro sériový přenos dat

## 4 Tvorba softwarové aplikace pro čtení a generování ovládacích signálů

Při tvorbě aplikace je jedním ze základních prvků nutné si definovat vstupy a výstupy. V mém případě mám tyto digitální výstupy (DOUT): Jed' no nové polohy, Otevři trysku, Zapni čerpadlo. Digitální vstup (DIN) je: Robot v poloze.

Analogové signály jsou také potřeba, a to zejména analogové vstupy (AI), kterými jsou data ze senzoru tlaku a také ze senzoru průtoku.

### 4.1 Měřicí karta NPCI-6221

V aplikaci se měřicí karta používá jako prostředník mezi robotem počítačem. Veškerá data ze senzorů pro měření tlaku, průtoku a měření hmotnosti jsou posílány na měřicí kartu. Také signály pro ovládání robota a čtení jeho stavů musí být připojeny ke kartě. Vybrána byla karta NI PCI 6221.

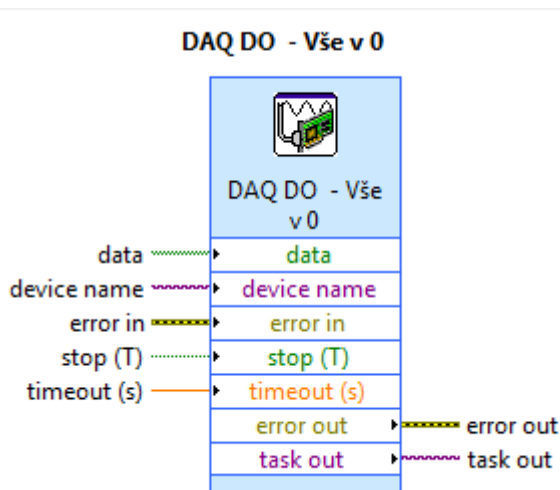
Měřicí karta má 68 pinů a to konkrétně 16 pinů pro analogové vstupy, 24 kombinovaných digitálních pinů pro vstupy a výstupy a 2 analogové výstupy. [19]

*Tabulka 5 Definování digitálních veličin*

Operace	Vstup/Výstup	Port/Linka	Nulování	Zapnutí
Zapínání trysky	Výstup	0/0	False	True
Robot v poloze?	Vstup	0/3		
Robot do nové polohy	Výstup	0/1	True	False
Zapínání čerpadla	Výstup	0/2	True	False

#### 4.1.1 DAQ assistant

Hlavním důvod použití DAQ assistant je ten, že pomocí tohoto bloku můžeme pracovat s měřicí kartou a vysílat na její piny data, nebo je z nich číst. Předem se pouze nastaví, jestli se jedná o signál digitální, nebo analogový, a také to, jestli je to vstupní proměnná nebo výstupní.



Obrázek 24 DAQ Assistant

Tento DAQ Assistant je nastaven pro nulování digitálních výstupů.

#### 4.2 Rozhraní Interbus

Jedná se o digitální výstup (port) robota, díky kterému najíždí například do nějaké polohy apod. Je spojen s robotem optickým vodičem a zde si robot tento příkaz (pro něj stav) přečte. V opačném případě zase robot posílá na měřicí kartu digitální input, kde se čte stav, který robot vygeneruje na Interbusu. Interbus používá 24 voltovou logiku, takže nelze napřímo spojit s měřicí kartou, protože ta používá TTL logiku, která je navržena pro rozsah 0 až 5 V. Proto mezi kartou a rozhraním Interbus musí být mezičlánek, který hladiny upravuje.

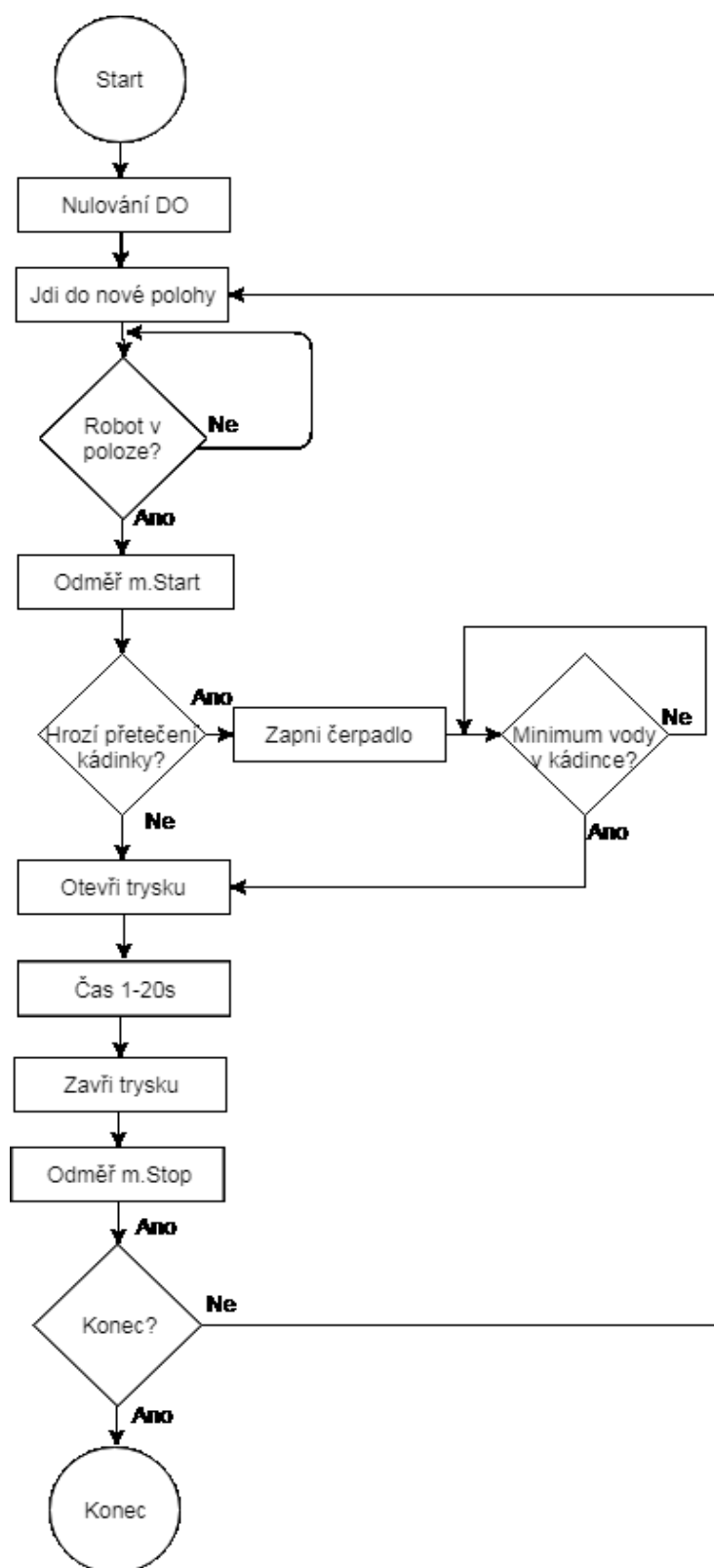
## 5 Realizace výsledné aplikace

Dobrým začátkem pro rozvržení aplikace je vytvoření si vývojového diagramu, kterým se definuje celá aplikaci, od začátku až po konec. Definují se v ní podmínky, řeší stavy a podle něj se pak dá aplikace vytvořit, protože známe všechny stavy a víme, jak se má aplikace chovat.

Testování probíhalo na fakultě elektroniky a informatiky v laboratoři EB417, testování probíhalo v prostředích NI MAX a LabVIEW. K testování byl použit generátor Agilent U3606B, pomocí kterého byla simulována data ze snímače tlaku a průtoku, která mají proudový výstup, proto byl na tomto generátoru simulován proud od 4 mA až po 20 mA. Byl zvolen odpor 220  $\Omega$ , který zaručil rozsah od 0,88 V až po 4,4 V. Generátor Agilent byl připojen na měřicí kartu, měřilo se se společnou zemí.

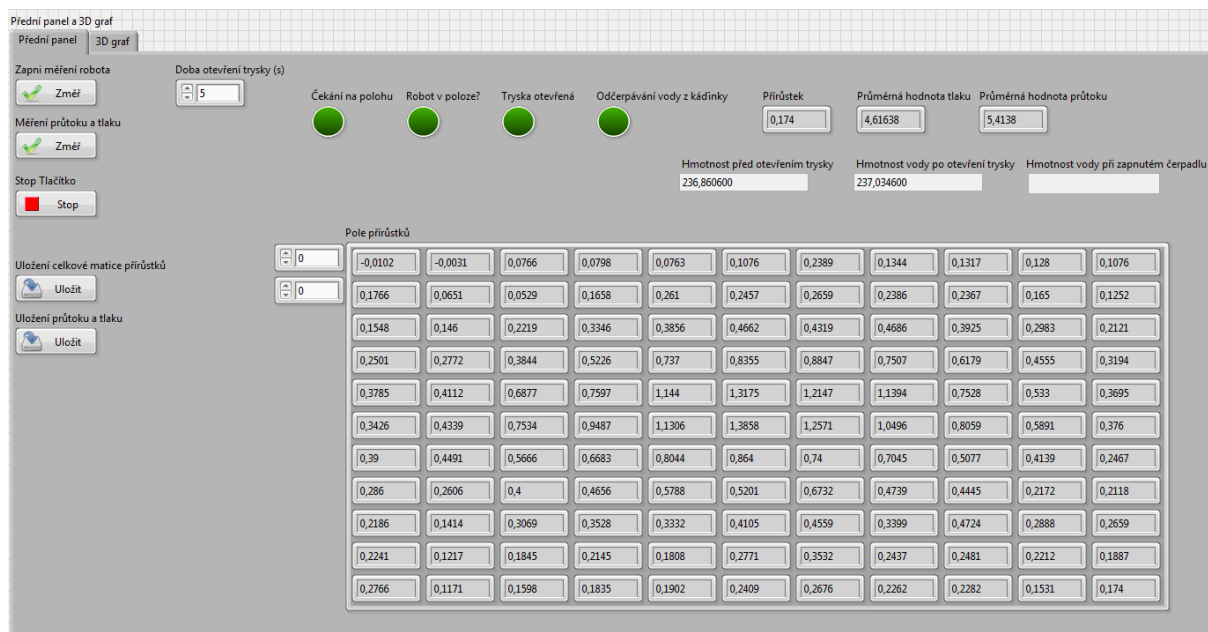
Výsledná aplikace je celá uvnitř struktury Event, takže pro spuštění této aplikace je zapotřebí spustit tlačítko Změř, které je jak pro zapnutí automatizované části robota, které slouží pro výpočet přírůstku a výsledného 3D grafu, tak druhé tlačítko Změř je pro měření průtoku a tlaku, které může být zmáčknuto kdykoliv během měření přírůstků.

Na dalším obrázku je vývojový diagram, který znázorňuje jednotlivé stavy automatizované části robota. Robot se rozběhne po Stisknutí tlačítka Změř. Dále následuje nulování Digitálních výstupů, což jsou stavy: Zapínání trysky, Robot do nové polohy, Zapínání čerpadla. Nulování je zapotřebí z důvodu předcházení hazardu, jako je například neočekávané vypnutí aplikace. Následkem by mohlo být po opětovném zapnutí to, že by robot mohl být v posledním stavu před vypnutím a to by mohlo způsobit škody. Poté jde robot do nové polohy, kde se čeká, až této polohy dosáhne. Dokud se tak nestane, nemůže pokračovat do následujícího kroku. Pokud je tato podmínka splněna, je odměřena počáteční hmotnost chladicího média, tedy vody v kádince. Pokud tato hodnota nepřekračuje horní limit pro maximální hmotnost vody v kádince, pokračuje se do dalšího kroku, kde se otevírá tryska. Pokud ovšem hrozí přetečení kádinky, zapíná se čerpadlo a zároveň se kontroluje aktuální hodnota vody v kádince. Pokud dosáhne své minimální hodnoty, je odčerpávání přerušeno a tryska se může otevřít. Dobu otevření trysky v rozmezí 1-20 s si volí uživatel. Poté je tryska zavřena a odměřena konečná hmotnost vody v kádince. Od této hodnoty se odečte počáteční hmotnost a tím se vypočte přírůstek chladicího média. Toto měření přírůstku je opakováno 121x. Konec nastane, pokud je změřeno 121 hodnot přírůstku, nebo je kdykoliv během měření zmáčknuto tlačítko stop, které vypne měření po doběhnutí aktuálního měřicího cyklu. Na konci aplikace je vytvořen 3D graf chladicí trysky.



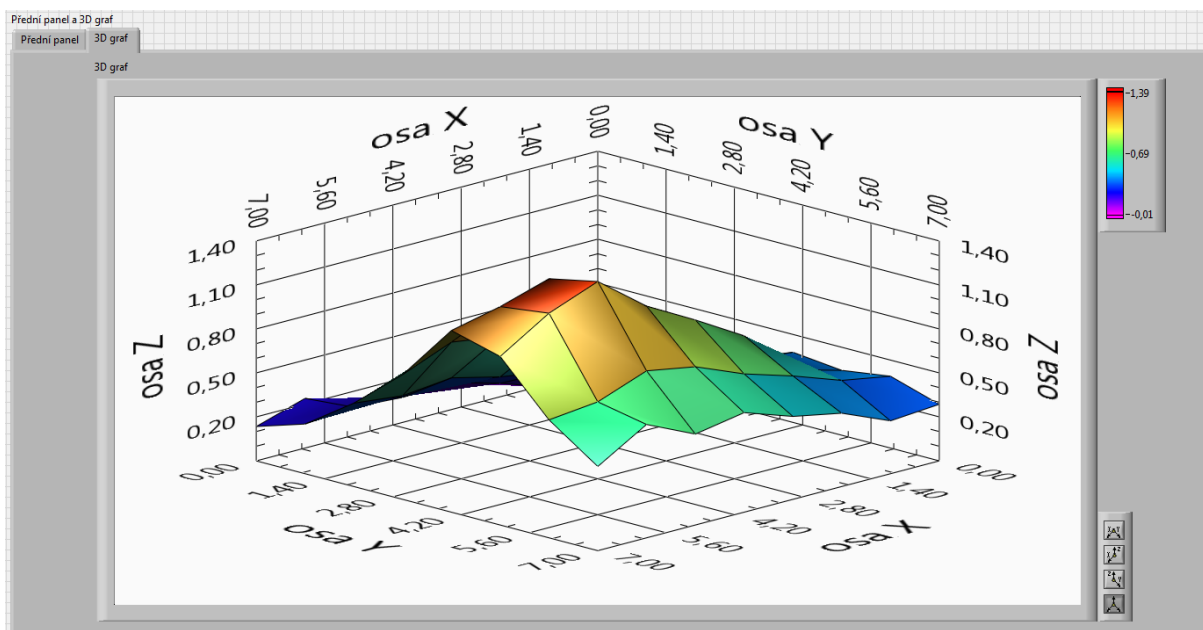
Obrázek 25 Vývojový diagram automatizované části robota

Níže je obrázek výsledného předního panelu, kde můžeme vidět dvě přepínací okna. Jedno slouží pro ovládání a inicializaci současných stavů robota a měřených hodnot, druhé je pro výsledný 3D graf. LED indikátory signalizují, v jakém stavu se robot nachází. Dále jsou zde indikátory hmotnosti vody v kádince před otevření trysky a po otevření trysky, aktuální hmotnosti při zapnutém čerpadlu. Na levé straně jsou ovládací tlačítka, které slouží pro spuštění programu, zastavení a uložení hodnot.



Obrázek 26 Výsledný přední panel

Výsledný 3D graf je vytvořen po dokončení programu. Program skončí, pokud je odměřeno všech 121 vzorků, nebo pokud je zmáčknuto kdykoliv během programu tlačítko Stop. Tento graf je vytvořen v druhé záložce jménem 3D graf, z důvodu snadnějšího vyhodnocení měření.



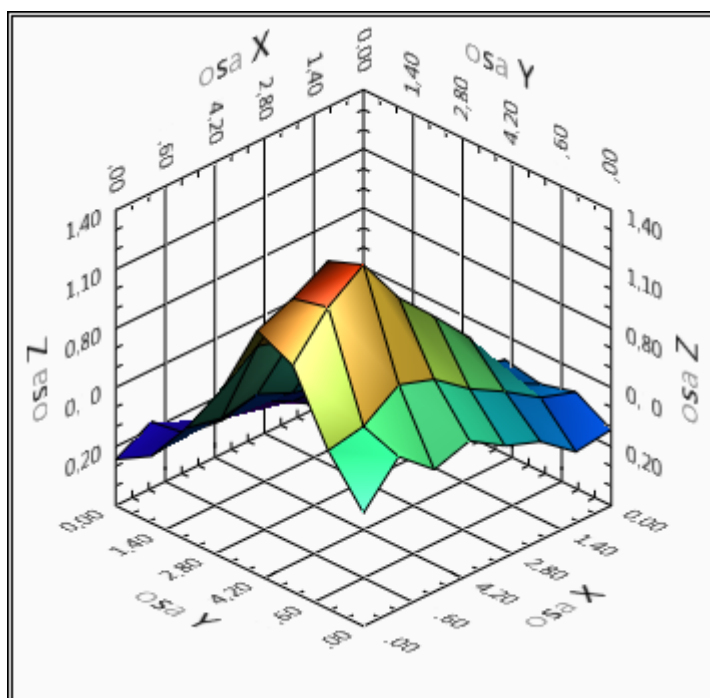
Obrázek 27 3D graf z výsledného předního panelu

## 6 Zhodnocení výsledků

Softwarová aplikace je plně funkční a požadované parametry jsou dle zadání změřeny. Po odměření všech 121 přírůstků vody je z těchto dat vytvořena matice 11x11 a současně data z této matice jsou dále využity k vytvoření 3D grafu, který reprezentuje výslednou charakteristiku chladicí trysky. Měření této charakteristiky proběhlo vícekrát.

Z důvodu dlouhého výsledného kódu jsou v této bakalářské práci zobrazeny pouze jednotlivé části kódu. Spojením těchto jednotlivých částí vznikne výsledný kód.

Jeden z výsledných grafů je znázorněn na obrázku číslo 28, který byl vyexportovaný z předního panelu přímo ve vývojovém prostředí LabVIEW, a to ve formě bitmap. Změřené výsledky budou sloužit jako podklad pro modelování chladnutí na počítači



Obrázek 28 Výsledný 3D graf



## Závěr

Všechny body, které byly zadány v zásadách pro vypracování práce, byly splněny. V této práci byl hlavní cíl navrhnout aplikaci pro měření charakteristiky chladicí trysky, která je připevněna na robotickém ramenu Kuka. Tato práce je součástí většího celku modelování procesu chlazení kontislitku při kontinuálním odlévání oceli. Robot má naprogramovanou matici měřicích bodů, po kterých se řízeně pohybuje a měří se množství chladicí kapaliny dopravené tryskou na ochlazovaný povrch. Aplikace zabezpečuje krokování v matici a odměření daného bodu (otevření trysky na určitou dobu, zavření trysky, odměr přírůstku kapaliny v měrné kádince a přesun do dalšího bodu matice). V případě potřeby je zajištěno také odčerpání vody z kádinky, při dosažení maximální hmotnosti kapaliny. V tomto kroku je zajištěna i kontrola minima kapaliny v kádince. Toto opatření bylo vytvořeno na základě ochrany čerpadla proti zavzdušnění. Tyto úkony jsou vykonávány automaticky, po stisknutí tlačítka start v aplikaci. Dále se měří průtok kapaliny a tlak, kterým je kapaliny tryskána. V konečné fázi tohoto měření je z hmotnostních přírůstků chladicí kapaliny tvořena matice rozměru 11x11 tzn. 121 prvků. Tato data jsou uložena a slouží k vytvoření 3D grafu.

V prvním bodě této práce je snaha o seznámení a přiblížení principů virtuálního měření signálů. V navazujícím kroku je popsán způsob při vytváření aplikace pro měření průtoku, tlaku a hmotnostních přírůstků. Sensory pro průtok a tlak jsou připojeny pomocí proudové smyčky 4-20 mA. Jelikož ale měřicí karta, na kterou jsou signály z těchto senzorů přivedeny, neumožňuje měřit proud, byl použit zakončovací rezistor 220Ω a měří se úbytky napětí na tomto rezistoru. Elektronická váha komunikuje pomocí sériové linky RS232. V této části kódu je realizována komunikace pomocí bloků „read“ a „write“ a čtena aktuální hmotnost měřená elektronickou váhou.

Následně bylo potřeba zajistit čtení a generaci ovládacích signálů pro robotické rameno. Tyto signály se následně prostřednictvím rozhraní INTERBUS přenášely do jeho řídicí části, Rozhraní INTERBUS je digitální rozhraní, pomocí něhož lze robota ovládat (krokovat) - např. „najeď do nové polohy“, „jsi v nové poloze“ apod. V programové aplikaci jsou všechny tyto akce realizovány prostřednictvím funkce DAQ Asistanta s příslušnou konfigurací.

Poslední operací bylo spojit všechny dílčí části kódu a v jeden celek, aby aplikace fungovala automaticky a následně byla možnost vykreslení do grafu a uložení hodnot do souboru. V případě, že požadujeme přesně měření, lze prodloužit dobu otevření trysky, čímž docílíme kvalitnějších výsledků, ale značně prodloužíme celkovou dobu měření charakteristiky trysky.

Jistým vylepšením aplikace pro měření charakteristiky chladicí trysky by mohla být generace doby otevření trysky přesně definovanou dobu prostřednictvím časovačů na měřicí kartě nebo externím časovačem. Aplikace dosud využívá systémového časovače, který nemusí být vždy úplně přesný, ale vzhledem k času otevření trysky (10 s a více) je jeho nepřesnost zanedbatelná. V tomto případě by bylo možné měřit charakteristiky s kratší dobou otevření trysky a tím zkrátit celou dobu měření z jednotek hodin na desítky minut.

Do budoucna se počítá s doplněním tohoto měření o novou metodu tzv. teplou verzi měření, kdy by byl vzorek zahříván a poté chlazen chladicí tryskou. Tím by se vyhodnotil chladicí výkon, který by lépe odpovídal skutečným poměrům při chlazení kontislitku. Tato metoda přinese další požadavky na měření a regulaci jako je například přesné nastavení a regulace teploty, přesné odměřování teploty v několika stanovených bodech apod.

## Použitá literatura

- [1] Katedra experimentální fyziky a Centrum výzkumu nanomateriálů: Virtuální instrumentace: moderní způsob měření [online]. Univerzita Palackého v Olomouci [cit. 2017-09-30]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/predmety-kef-slo/virtualni-instrumentace-v-experimentech>
- [2] Experimentální metody - Virtuální laboratoř: ROZDĚLENÍ MĚŘICÍCH A ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ [online]. [cit.2018-01-27]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/daq/Ka01-02.htm>
- [3] MANI, Mina a Rover DIANE. Educational laboratory virtual instrumentation suite (elvis) laboratory development: Detailed Design [online]. 2013 [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://seniord.ece.iastate.edu/projects/archive/may0319/Project%20Final%20Report.htm>
- [4] Experimentální metody - Virtuální laboratoř: Proces měření a jeho fáze [online]. [cit. 2018-01-27]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/labview/LV01-02.htm>
- [5] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. Začínáme s LabVIEW, Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9
- [6] ŠKORPÍK, Jiří. Proudění plynů a par tryskami, *Transformační technologie*, 2006-02, [last updated 2018-04-10]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/40.html>
- [7] EJEKTORY.CZ: O tryskách BETE [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z : [https://www.ejektory.cz/trysky\\_bete.html](https://www.ejektory.cz/trysky_bete.html)
- [8] Trysky s rozstříkem plného kužele [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: [https://www.hennlich.cz/uploads/CZ\\_plný\\_kužel.pdf](https://www.hennlich.cz/uploads/CZ_plný_kužel.pdf)
- [9] ŠTĚTINA, Josef. Dynamický model teplotního pole plynule odlévané bramy: Plynulé odlévání oceli – základní principy [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/stetina/disertace/kapitola-1.htm>
- [10] ŠTĚTINA, Josef. OPTIMALIZACE PARAMETRŮ LITÍ SOCHORŮ POMOCÍ MODELU TEPLTNÍHO POLE: Původní teplotní model předlitku pro sochorové radiální ZPO [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/stetina/habilitace/kapitola-2.htm>
- [11] Integrated: Demystifying Piezoresistive Pressure Sensors [online]. 2002 [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/871>
- [12] BEJČEK, Ludvík a Jan VACULÍK. Snímače a měřicí technika: Snímače tlaku [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/42719.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/42719.pdf)
- [13] Piezoresistive Pressure Transmitters [online]. 2017 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.keller-druck.com/picts/pdf/engl/23e.pdf>

- [14] KADLEC, Karel. AUTOMA časopis pro automatizaci a techniku: Indukční průtokoměr – princip, vlastnosti a použití [online]. ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: [http://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/indukcni-prutokomer-princip-vlastnosti-a-pouziti-2012\\_10\\_0\\_9933](http://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/indukcni-prutokomer-princip-vlastnosti-a-pouziti-2012_10_0_9933)
- [15] COMAC CAL: PRŮTOKOMĚRY [online]. [cit. 2017-12-12]. Dostupné z: <http://comacal.cz/produkty/prutokomery>
- [16] VÝVOJ A VÝROBA MĚŘICÍ A SENZOROVÉ TECHNIKY: KATALOG PRODUKTŮ [online]. Těrlicko, 2017 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.comacal.cz/download/katalog-produktu/>
- [17] VOJÁČEK, Antonín. Rady a poslední novinky z oboru: Proudová smyčka 4-20 mA - obecný popis [online]. 2014 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz//proudova-smycka-4-20-ma-obecny-popis>
- [18] Provozní manuál: Přesné vážení, kompaktní vážení a plošinové vážení [online]. Balingen, 2013 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: [http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/100000-124999/123995-an-01-cs-KERN\\_KB\\_2400\\_2N\\_TISCHWAAGE\\_2410G.pdf](http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/100000-124999/123995-an-01-cs-KERN_KB_2400_2N_TISCHWAAGE_2410G.pdf)
- [19] DEVICE SPECIFICATIONS: NI 6221 [online]. 2016 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375303c.pdf>

## Seznam příloh

Příloha A:	Příloha na CD .....	I
------------	---------------------	---

## **A: Příloha na CD**

Adresářová struktura přiloženého CD obsahuje:

- Text této bakalářské práce v elektronické podobě
- Zdrojový kód celé aplikace včetně jednotlivých subVI v LabVIEW 2017
- Textový soubor změřených hodnot průtoku a tlaku
- Textový soubor výsledné matice 121 přírůstků
- Video formátu mp4 robotického ramena s chladicí tryskou